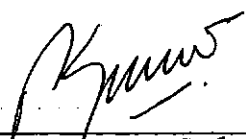



"UM MODELO DE SIMULAÇÃO E OPERAÇÃO DE UM SISTEMA DE  
IRRIGAÇÃO COM RESERVATÓRIOS EM RIOS INTERMITENTES"

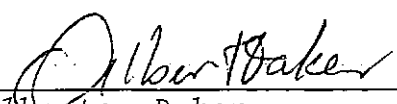
ARTHUR ARCANJO DO CARMO FILHO

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS  
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVER-  
SIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS RE-  
QUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MES-  
TRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.):

Aprovada por:

  
\_\_\_\_\_  
Pedro L.A. Guerrero Salazar  
(Presidente)

  
\_\_\_\_\_  
Dirceu Machado Olive

  
\_\_\_\_\_  
Alberto Daker

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

DEZEMBRO 1978

CARMO FILHO, ARTHUR ARCANJO DO

*Um Modelo de Simulação e Operação de um Sistema de Irrigação com Reservatórios em Rios Intermitentes*  
[Rio de Janeiro] 1978.

VII, 170p. 29,7cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 1978)

Tese.- Univ. Fed. Rio de Janeiro COPPE

1. *Modelo de Simulação de Sistema de Irrigação com Reservatório.* I. COPPE/UFRJ. II. *Título (série).*

*Dedico este trabalho fruto de muitos esforços e renúncia; a minha irmã Nilda (in memórium) pelo especial carinho e estímulo com que sempre acompanhou meus estudos.*

### AGRADECIMENTOS

A COPPE na pessoa de seu Diretor prof. Paulo Alcântara Gomes; ao prof. Fernando L. Lobo B. Carneiro, coordenador do programa de Engenharia Civil; ao prof. Rui Carlos Vieira da Silva, chefe da área de Recursos Hídricos e Saneamento.

Ao prof. Pedro L.A. Guerrero pela capacidade que representa e a segurança e dedicação com que orientou a tese; ao prof. Dirceu Machado Olive pelas sugestões e estímulos prestados; e ao prof. Alberto Daker pelo exame crítico a que submeteu o trabalho.

Ao D.N.O.C.S. na pessoa dos Engenheiros Amaury Aragão Araújo, Luís Hernani Carvalho e Mário Borges Mamede Neto, pelo acesso que concedeu as fontes de informações como também ao material bibliográfico fornecido.

A S.I.R.A.C. (Serviços Integrados de Assessoria e Consultoria) na pessoa do Superintendente Engenheiro, Cornélio Nogueira Diógenes, pelo material bibliográfico também cedido.

A C.A.P.E.S. e C.N.Pq pelo apoio financeiro e a todos os funcionários e pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste Estudo; a todas Bibliotecárias da COPPE pelo excelente trabalho que realizam e de ~~torre~~ torre ~~conhecível~~ conhecível valor; aos trabalhos datilográficos de Eunice de Assis Monsorez Pereira; aos desenhos elaborados por Maria Angelica e Ana Lucia Prado Monteiro e a colaboração imprescindível de Célia Regina de Carvalho.

Finalmente um agradecimento especial a meus pais, irmãos e familiares pelo incentivo que sempre deram a meus estudos.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar a melhor utilização de um suprimento hídrico regularizado por um sistema de reservatórios em um sistema de irrigação. Foram utilizados modelos de geração de deflúvios mensais, de simulação de sistemas de irrigação e de operação dos reservatórios. Para a geração de deflúvios mensais foi empregada uma metodologia de análise de estrutura de série de vazões em rios intermitentes, identificando-se um modelo para elas e, com este, se gerou um conjunto de séries sintéticas mensais. Neste conjunto se estimaram os períodos críticos e os volumes de regularização, correspondentes para uma descarga regularizada, relativos a regularização da série histórica, efetuando-se posteriormente uma análise de frequência daqueles volumes.

Em continuação, foram analisados os requerimentos de água para os cultivos para uma sequência de áreas irrigadas incrementais, e aplicou-se técnicas de simulação de sistema de irrigação baseadas no critério do máximo benefício. Com as demandas identificadas simulou-se a operação do reservatório equivalente, a fim de se estudar o seu comportamento com aquelas demandas sob diversas hipóteses, considerando ainda, a evaporação no espelho d'água como a perda mais significativa.

As aplicações desta metodologia, foram realizadas no projeto de Morada Nova, no Vale do Banabuiú, no Estado do Ceará. Os resultados obtidos são apresentados e discutidos, onde se pode concluir que mesmo nas situações mais desfavoráveis do período crítico o suprimento hídrico disponível satisfará as demandas do projeto, e indicando a confiabilidade dos volumes excedentes para irrigação de outras áreas ajusante.

## ABSTRACT

Selection of alternative for better use of the regulated water supply of an irrigation system for irrigation purpose was the objective of this study.

Mathematical models for generation of monthly streamflow, for simulation of irrigation system and for reservoir operation were used.

A methodology for the analysis of the structure of monthly streamflow series in intermittent rivers was used to identify a model for generation of monthly series. The critical period and the corresponding volume for a given regulated discharge were estimated for the set of generated series. Their frequency analysis was performed in order to analyze the reliability of supply.

The irrigation water requirements for a set of selected crops were calculated and a simulation of the operation of the irrigation system was made using the criteria of maximum benefit and incremental areas.

With the demands identified, the simulation of the operation of an equivalent reservoir system was performed.

The application of the above methodology was made to the Morada Nova Project in the Banabuiu Valley in the State of Ceará.

## INDICE

	Pág.
<i>CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO.....</i>	<i>1</i>
1.1 - <i>Considerações Gerais.....</i>	<i>1</i>
1.2 - <i>Aspectos da Agricultura Irrigada.....</i>	<i>4</i>
1.3 - <i>Objetivo do Trabalho.....</i>	<i>5</i>
<i>CAPÍTULO II - REVISÃO DA LITERATURA.....</i>	<i>8</i>
2.1 - <i>Análise da Estrutura de Séries Temporais</i> <i>Hidrológicas.....</i>	<i>8</i>
2.2 - <i>Geração de Séries Sintéticas.....</i>	<i>10</i>
2.3 - <i>Os Modelos Matemáticos de Simulação em Siste-</i> <i>mas de Irrigação.....</i>	<i>13</i>
<i>CAPÍTULO III - METODOLOGIA.....</i>	<i>15</i>
3.1 - <i>Introdução.....</i>	<i>15</i>
3.2 - <i>Análise da Estrutura de Séries Temporais</i> <i>Hidrológicas.....</i>	<i>15</i>
3.2.1 - <i>Um Modelo para Estrutura de Séries de</i> <i>Vazões em Rios Intermitentes.....</i>	<i>20</i>
3.2.2 - <i>Geração de Vazões Mensais em Rios</i> <i>Intermitentes.....</i>	<i>28</i>
3.3 - <i>Partes Constituintes de um Sistema de</i> <i>Irrigação.....</i>	<i>33</i>
3.4 - <i>Reservatórios de Regularização nos Sistemas de</i> <i>Irrigação.....</i>	<i>35</i>
3.4.1 - <i>A Técnica dos Picos Sequenciais.....</i>	<i>37</i>
3.4.2 - <i>Estudo de Regularização de Vazões com</i> <i>Séries Geradas.....</i>	<i>42</i>
3.5 - <i>Estimação das Demandas de Irrigação.....</i>	<i>42</i>

3.6 - Os Modelos Matemáticos de Simulação de Sistemas de Irrigação.....	53
3.6.1 - O Modelo de Simulação.....	53
3.6.2 - A Função Produção.....	56
3.6.3 - A Função Benefício.....	58
3.6.4 - Modalidades de Distribuição de Água em Sistema de Irrigação.....	63
3.6.5 - O Processo de Simulação do Modelo....	68
3.7 - Simulação da Operação Mensal de Reservatório de Regularização em Sistema de Irrigação..	75
CAPÍTULO IV - APLICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	81
4.1 - Características da Área do Sistema de Irrigação Selecionado.....	81
4.2 - Dados Hidrometeorológicos.....	88
4.3 - Formulação do Sistema de Irrigação.....	97
4.3.1 - Análise Hidrológica.....	101
4.3.2 - Estimção das Demandas.....	126
4.3.3 - Simulação do Sistema de Irrigação da Operação do Reservatório.....	135
4.3.3.1 - Simulação do Sistema de Irrigação..	135
4.3.3.2 - Simulação da Operação do Reservatório de Regularização.....	155
CAPÍTULO V - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	161
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	165



## C A P Í T U L O I

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 Considerações Gerais

Em épocas passadas, embora aplicando-se técnicas bastante primárias, a utilização dos recursos hídricos disponíveis na natureza, não causavam sérias preocupações como as que causam hoje, pois as disponibilidades dos recursos hídricos eram inúmeras vezes superiores às demandas em qualquer período do ano.

Com o crescente desenvolvimento das áreas industriais urbanas e rurais, estes recursos passaram a ser mais solicitados obrigando as entidades governamentais, privadas, ou mesmo dos próprios usuários a uma sistematização no uso visando um melhor aproveitamento e conservação daqueles.

Na atividade agrícola, os consumos de água para irrigação incrementaram-se com o aumento das áreas cultivadas, implicando numa maior utilização dos mananciais disponíveis e o desenvolvimento de técnicas mais apuradas para obtenção de maiores benefícios econômicos. Como consequência imediata, surgiu a necessidade de reservatórios de armazenamento de águas superficiais e subterrâneas, e do desenvolvimento de regras de operação para seu melhor uso, deixando de lado as técnicas empíricas. Neste trabalho, salienta-se a utilização somente de reservatórios superficiais, embora de uma forma geral, deva-se estudar a possibilidade de adição de reservas subterrâneas e considerar sua utilização conjunta com os recursos superficiais.

Nas regiões úmidas um confronto entre os investimentos e os benefícios, muitas vezes revela a inviabilidade de projetos de sistemas de irrigação, pelo fato das ocorrências de deficits serem pouco significativas ou de pequena probabilidade de ocorrência. Já nas regiões áridas e semi-áridas, as irregularidades e escassez das precipitações são bem frequentes, tornando mais viáveis estes planejamentos, não só pelos benefícios diretos (incremento da renda per capita na região) mas também, por aqueles indiretamente obtidos como consequência imediata (saúde, melhor padrão de vida, e outros).

Uma consideração de relevante importância nos projetos hidroagrícolas, deve ser tomada relativamente ao caráter aleatório com que ocorrem os fenômenos hidrometeorológicos na natureza, assim, o suprimento que se faz disponível a um sistema como também as demandas, passarão a ser no contexto, variáveis aleatórias e conseqüentemente, os benefícios econômicos obtidos no mesmo.

No caso do Nordeste brasileiro, o problema do melhor aproveitamento dos recursos hídricos, reveste-se de muito significado, pela realidade climatológicas de que é possuidora pois, com clima semi-árido, a evapotranspiração potencial chega a valores bastante superiores às precipitações durante o ano. Além do mais, conta-se com a inexistência de rios perenes que permitam assegurar o desenvolvimento dos projetos hidroagrícolas sem regularização. Desta feita nota-se, que os reservatórios superficiais nesta região surgiram como uma primeira medida na diminuição dos possíveis prejuízos causados pelas secas.

Estes reservatórios são geralmente de regularização plurianual, e fazem com que os recursos hídricos naturais irregulares no tempo, transformem-se em esocamentos regularizados e modulados de acordo com uma programação, para satisfazer as necessidades. Em muitos casos se requer o planejamento das regras de operação a longo, médio, e curto prazo quando necessário, com os respectivos planos de cultivos, em função do consumo do mercado e da política de implantação.

Considerando as irregularidades pluviométricas quanto ao uso da água nos projetos hidroagrícolas, o emprego de modelos matemáticos de exploração de reservatórios, a ser considerado neste trabalho juntamente com modelos matemáticos de sistemas de irrigação, podem ajudar a estabelecer melhores regras de operação de forma a obter-se benefícios mais satisfatórios. Estas regras de operação não podem ser consideradas estáticas, pois, devem modificar-se de acordo com as necessidades, adaptando-se às condições variáveis a que está submetida a agricultura.

Um eficiente planejamento de operação do sistema de irrigação deve considerar entre outros fatores: (1) a seleção e a alocação de cultivos mais rentáveis no sistema de irrigação, de acordo com a influência exercida pela operação do reservatório e pelas variações a que esta seleção poderá sofrer no tempo, devido as flutuações no mercado consumidor; (2) os volumes armazenados no reservatório, ou reservatórios que compoem o sistema.

No caso inverso, ou seja um mau planejamento, poderá acarretar ruina dos cultivos e causar ainda consequências graves como, dificuldade de abastecimento d'água para subsistência do homem e animais, desemprego eventuais e mais a perda de

confiança dos irrigantes nos administradores do sistema.  
 necessidades do sistema.

## 1.2 Aspectos da Agricultura Irrigada

A pretensão básica da irrigação é, incrementar a produção dos cultivos por unidade de área, e uma irrigação eficiente deve tentar conseguir os mais altos benefícios possíveis por unidade de área, com o mínimo de água utilizada.

A irrigação, pode ser considerada como o planejamento, construção e operação de projetos de suprimentos de água, para o desenvolvimento de uma agricultura intensiva. Assim, para que seus objetivos sejam atingidos a integração de estudos técnicos, administrativos e sócio-econômicos devem ser realizados e analisados, considerando o caráter dinâmico dos fatores intervenientes, viabilizando as potencialidades das fontes no tocante a satisfação das demandas sempre crescente.

A irrigação tem lugar sempre que as necessidades em água dos cultivos, excedem as disponibilidades naturais exigindo-se suprir de uma outra forma tais deficits, durante o tempo em que se manifesta a insuficiência de água.

As necessidades de água dos diversos cultivos a serem supridas pelos reservatórios de irrigação, em cada período estabelecido, pode ser determinada através da estimação do uso consuntivo de água, juntamente com as características do solo irrigado como, textura, porosidade, salinidade, infiltração, percolação, e capacidade de armazenamento. Além disso, se considera as precipitações efetivas e mais ainda a situação física das fontes ou reservatórios, em relação as áreas cultivadas,

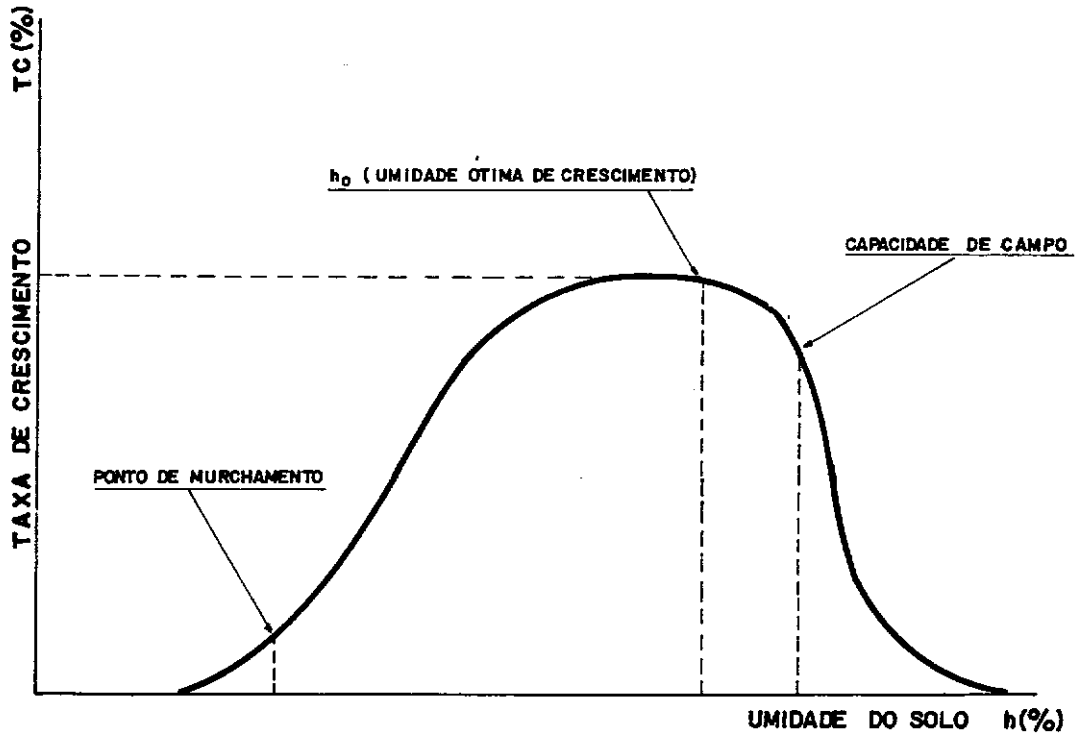
para o cômputo das perdas de condução até à aplicação as unida  
des mais simples do sistema.

O desenvolvimento da maioria dos cultivos de irri-  
gação se estimula com a umidade moderada do terreno, e sofre um  
processo de retardamento quando esta é excessiva ou deficiente.  
A Figura 1.1 mostra a influência dos diversos níveis de umida  
de do solo na taxa de crescimento dos cultivos.

Para o caso da estimativa das disponibilidades tor-  
na-se ainda necessário, o conhecimento das características dos  
fenômenos meteorológicos da região, que afetam as demandas, co-  
mo as precipitações, umidade do ar, temperatura, velocidade do  
vento, e mais os deflúvios quando existir aproveitamento de re-  
servatórios superficiais.

### 1.3 Objetivo do Trabalho

Propõe-se neste trabalho o desenvolvimento e apli-  
cação de uma metodologia que visa utilizar um determinado su-  
primento hídrico regularizado, representado por um ou mais re-  
servatórios nos aproveitamentos hidroagrícolas, em busca da ma-  
ximização dos benefícios econômicos ou lucros. É realizado um  
estudo hidrológico das séries de deflúvios mensais afluentes a  
um reservatório equivalentes, quando for o caso, juntamente com  
o uso de técnicas de geração de séries sintéticas, e técnicas  
de simulação de sistemas de regularização e irrigação. Estuda-  
se logo a operação do reservatório a partir de uma seleção de  
cultivos com os quais se estimou as demandas, e com as disponi-  
bilidades hídricas analisa-se a confiabilidade do comportamen-  
to do sistema, diante as irregularidades dos suprimentos e dos



[Fonte: ISRAEISEN e HANSEN (1962)]

FIG. 1.1-RELAÇÃO ENTRE A TAXA DE CRESCIMENTO E A UMIDADE DO SOLO

planos de cultivos mensais e anuais.

Através desta metodologia pode-se definir melhores alternativas de operação intensiva e racional dos sistemas de irrigação, como fruto de uma melhor alocação do suprimento de água realizado, no decorrer dos planos de cultivos.

O trabalho desenvolvido será apresentado na seguinte sequência: no capítulo II, far-se-á a revisão da literatura; no capítulo III, a apresentação das técnicas utilizadas; o capítulo IV corresponderá à aplicação das técnicas descritas no capítulo anterior ao caso do projeto de Morada Nova, no Vale do Banabuiú, e as respectivas análises e comentários dos resultados obtidos; e finalmente no capítulo V serão indicadas as conclusões e recomendações sugeridas.

## C A P Í T U L O II

### REVISÃO DA LITERATURA

#### 2.1 Análise da Estrutura de Séries Temporais Hidrológicas

A partir do registro de observações das séries hidrometeorológicas pode-se identificar importantes informações nos projetos de aproveitamento dos recursos hídricos, assim pode-se estudar as características das mesmas utilizando-se técnicas de análise de estrutura de séries temporais que permitem caracterizar os fenômenos por intermédio das respectivas séries de observações. Com relação aos processos estocásticos conforme descreve-se na seção (3.2) diversos modelos têm considerado o caráter das séries temporais estacionárias ou não estacionárias, porém o segundo caso tem sido pouco desenvolvido por sua complexidade.

A teoria dos processos estocásticos estacionários vem de forma gradativa sendo mais difundida consequentemente recebendo maiores contribuições como as de Hannam (1970), Anderson (1941), e Grenander e Rosenblatt (1957). No caso de sequências hidrológicas anuais e mensais, Yevjevich [(1972a) e (1972b)] e Kiesel (1969) tem apresentado entre outros significativas contribuições.

Em abordagem dirigida aos processos estocásticos estacionários, vários estudiosos têm-se proposto a investigação da periodicidade nas séries temporais. Schuster (1898) idealizou o periodograma dando origem a análise espectral, cabendo a Tukey (1959) e Bartlett (1950), entre outros a sua con-



tinuidade. No Brasil, Machado (1970), utilizando os recursos dos computadores junto a transformada rápida de Fourier, desenvolveu um estudo dentro da análise espectral, na análise de séries hidrológicas.

Rodriguez - Iturbe (1968) propôs um método em que a periodicidade das séries temporais não é analisada por um único espectro de toda a série como já havia sido realizado e, sim por um conjunto variável ao longo do tempo, fazendo as séries temporais possuírem o caráter não-estacionário.

A análise de estrutura de séries hidrológicas univariadas de vazões em rios perenes tem sido bastante estudada, Yevjevich (1972a), Thomas e Fiering (1962) e outros. No Brasil, por exemplo, Machado (1970), Lattari e Guerrero (1975) aplicaram estas análises também a rios perenes.

Em geral, para o caso de vazões mensais, os seus consecutivos valores são caracterizados por uma dependência no tempo. Wold (1954) realizou um estudo envolvendo a relação entre o modelo auto-regressivo investigado por Yule (1927) e o esquema de médias móveis de Slutsky (1937), tentando modelar a dependência sequencial dos valores de uma série temporal.

Roesner e Yevjevich (1966) desenvolveram um estudo identificando a estacionaridade e, periodicidade usando técnicas de correlação de série, espectro de variância e identificação da componente estocástica independente na análise de estrutura de série, para representar as séries temporais por um modelo. Em estudos mais apurados, Yevjevich (1972b) apresentou uma análise de estrutura de séries hidrológicas, usando técnicas para verificar a periodicidade nos parâmetros média, variância, assi

metria, coeficiente de correlação e, testes de verificação de constância de coeficiente de variação, assimetria, e autocorrelação. Foram propostos juntamente com modelos de dependência da componente estocástica.

Um modelo em que se considera a estacionaridade e não estacionaridade simultaneamente nas séries hidrológicas foi apresentado por Box e Jenkins (1970) denominado modelo de ARIMA (Autoregressive - Integrated - Moving Average). Baseia-se no princípio de que a modelagem da série temporal por um número mínimo de parâmetros representará uma abordagem mais conveniente. Aplicações do modelo de Box e Jenkins (1970) no Brasil, para previsões de séries, foram realizadas por Araújo (1974), dando um enfoque à transformação e estimação dos parâmetros e Souza (1974) ressaltando o problema da identificação e testes estatísticos. Numa tentativa de integrar os modelos de Yevjevich, Box e Jenkins, com o objetivo de se realizar previsões de séries univariadas, Silva e Sales (1975) e Sales (1977) apresentaram aplicações de modelos estocásticos lineares para séries hidrológicas de vazões mensais. No caso de rios intermitentes pouco se tem desenvolvido. Uma das primeiras contribuições foi a apresentada por Clarke (1973) e será discutida mais detalhadamente neste trabalho.

## 2.2 Geração de Séries Sintéticas

No planejamento de expansão de um sistema de recursos hídricos a aleatoriedade das variáveis hidrológicas envolvidas é um fator que se torna indispensável de análise e consideração. O uso de séries sintéticas ou geradas vieram a con-

tribuir decisivamente neste sentido.

As séries geradas por sua vez, deverão assemelhar-se a histórica em termos das propriedades que exerçam influências significativas no estudo da operação do sistema, portanto verifica-se que a maioria dos trabalhos tem-se orientado para o caso de rios perenes.

Um das primeiras tentativas voltadas para a geração de série de deflúvios foi a realizada por Sudler (1927). Este partiu da seleção de um registro de observações de descargas anuais com determinado coeficiente de variação e dispondo de um mesmo número de cartões, marcou cada valor em cada cartão em baralhando-os consecutivamente e obtendo várias sequências de vazões, para o estudo de dimensionamento de reservatório. Embora não se constituindo técnica de grandes recursos principalmente pela quebra da estrutura de autocorrelação, foi um primeiro avanço por se considerar no projeto diferentes amostras de vazões, o que em outrora considerava somente a série histórica.

Hurst (1951) forneceu uma excelente contribuição na hidrologia quando examinou persistência hidrológica, ao longo do tempo.

Thomas e Fiering (1962) em seguida desenvolveram um modelo matemático de geração de séries de vazões mensais, através de uma equação recursiva em que é preservado a média o desvio padrão, e o coeficiente de autocorrelação linear de ordem um. Em trabalhos posteriores, Thomas e Fiering (1963) e Matalas (1967) considerando a assimetria utilizaram as distribuições gama e log - normal de tres parâmetros, para ajustar a componenên

te aleatória.

Roesner - Yevjevich (1966) e Quimpo (1967) apresentaram modelos matemáticos de vazões mensais e diárias respectivamente em que fora desenvolvido um método paramétrico para a remoção da periodicidade, a partir de uma série de Fourier. Benson e Matalas (1967), sugeriram um processo de geração de série, a partir de parâmetros estatísticos regionais, fazendo reduzir os possíveis erros provenientes das pequenas amostras e possibilitando inclusive, a obtenção de dados sintéticos em locais onde não se dispõe de registros.

Uma extensão do modelo de Thomas - Fiering foi proposto por Harms e Campbell (1967) cujas características principais eram; a preservação da distribuição log - normal e coeficiente de correlação para as vazões mensais; a preservação da distribuição normal e coeficiente de correlação para as vazões anuais, já que a geração pelo método anterior, não preservava a dependência docorrente das séries anuais e mensais. A consistência entre os dois tipos de vazões foi conseguida através da atribuição de pesos de igual valor para os dois tipos de vazões mantendo-se desta maneira, a relação entre os volumes anuais e mensais.

Valencia e Shaake (1973), desenvolveram um modelo de geração de séries temporais baseado num esquema de desagregação em que preservava a variância e propriedades da covariância para a série anual e as variações sazonais, mensal, semanal e diária dentro do ano, segundo o caso.

Para o caso de geração de vazões mensais em rios intermitentes pouco tem-se desenvolvido. O trabalho realizado

por Clarke (1973) tem sido uma das primeiras contribuições e será utilizado neste estudo.

### 2.3 Os Modelos Matemáticos de Simulação em Sistemas de Irrigação

Os modelos matemáticos em irrigação são muito recentes portanto sua aplicação mais intensiva é notada nos países que desfrutam de um maior desenvolvimento tecnológico, assim na operação dos sistemas de irrigação tem-se encontrado excelentes resultados quando se usa de maneira racional, estes recursos FAO [ (1974, nº 23) e (1977, nº 24) ], e Clarke (1973).

Nos últimos anos, com o advento dos computadores e de novas técnicas de programação matemática, tem sido pesquisa das diversas soluções para os problemas da utilização dos reservatórios de regularização nos projetos hidroagrícolas.

Uma das técnicas bastante utilizadas que permitem obter estas soluções consiste nos modelos de simulação considerados em duas fases distintas de desenvolvimento: projeto e operação.

A importância da simulação nos sistemas de recursos hídricos têm sido discutido na metodologia de planejamento do uso de água, apresentado no trabalho desenvolvido por Maass et al (1962). Em trabalho apresentado por Hüf Schmidt e Fiering (1966), são descritos métodos para construção de modelos de simulação, fornecendo detalhes acerca do procedimento para aplicação em sistemas de recursos hídricos. Posteriormente, Dudley et al (1970), apresentaram uma metodologia de simulação e aplicação de programação dinâmica em aproveitamentos hidroagrícolas.

O modelo de computação digital em sistema de irrigação elaborado por Anderson e Maass (1971), determina o efeito da variação do suprimento hídrico, das restrições a que estão submetidos o sistema e, das regras de distribuição de água sobre o desenvolvimento e produção dos cultivos. O modelo leva em consideração o critério do máximo benefício econômico e tem sido um dos primeiros em atingir níveis detalhados na simulação. Este modelo será utilizado neste trabalho.

Conner et al (1972) realizando uma pesquisa acerca da teoria e metodologia dos riscos nas decisões dos projetos de aproveitamento hidroagrícola, idealizaram um modelo baseado na hipótese de utilidade esperada e da teoria gama. Neste a programação de risco juntamente com a simulação são usadas para desenvolver um modelo de sistema de recursos hídricos, a fim de se estudar a variabilidade da água sobre as decisões administrativas no distrito de irrigação.

## C A P Í T U L O   III

### METODOLOGIA

#### 3.1   Introdução

A metodologia a ser utilizada neste trabalho, é descrita na seguinte sequência:

- (1)- Análise de estrutura de séries temporais hidrológicas.
- (2)- Geração de séries temporais de deflúvios e análise do período crítico.
- (3)- Estudo da operação do reservatório para o sistema de irrigação.
- (4)- Simulação do sistema de irrigação através de modelos matemáticos.

#### 3.2 Análise da Estrutura e Geração de Séries Temporais Hidrológicas

Em todo sistema de recursos hídricos o caráter aleatório das variáveis hidrológicas envolvidas sendo um fator que exerce influência significativa ao sistema, deve ser considerado como de suma importância. Informações acerca dos períodos de estiagens, e suas variações e confiabilidade de suprimento hídrico devem ser analisados a partir das séries correspondentes, fornecendo assim, elementos para os diversos estudos e projetos.

Com a acelerada evolução da tecnologia, os métodos de análise empregados, tornaram-se cada vez mais eficientes no

que se refere a extrair informações mais apuradas dos registros históricos, onde as séries temporais são consideradas como possíveis sequências caracterizadas, por propriedades estatísticas.

Um processo estocástico, conforme Yevjevich (1972b), pode ser caracterizado por uma representação matemática de um processo empírico, com desenvolvimento governado por leis probabilísticas.

Se  $\xi_t$  é um evento aleatório relativo a um tempo  $t \in \pi = [0, T]$ , as sequências  $\{\xi_t, t \in \pi\}$  formam um conjunto de realizações do processo, com a particularidade de apresentar sucessões distintas para cada período de observação, conseqüentemente  $\{\xi_t\}$  pode ser considerado uma variável aleatória.

Sua representação poderá ser feita através de uma família de funções de probabilidade de  $\{\xi_t\}$ ,

$$F(X_1, \dots, X_n, t_1, \dots, t_n) = P_r (\xi_{t_1} < X_1; \dots; \xi_{t_n} < X_n) \quad (3.1)$$

onde

$$n \in N; (t_1 \dots t_n) \in \pi \text{ e } (X_1, \dots, X_n) \in \{X_t\}.$$

Os processos hidrológicos na natureza pela forma como ocorrem podem ser classificados como processos estocásticos ou determinístico - estocásticos, já que, dificilmente se irá encontrar fenomenos hidrológicos especificamente determinísticos, a não ser em condições controladas; considere-se processos hidrológicos estocásticos são aqueles governados por leis de probabilidades e as suas sequências ocorrem aleatoriamente, ao passo que os processos hidrológicos determinísticos



são os que podem ser determinados a partir de expressões funcionais ou mesmo curvas experimentais.

Um processo hidrológico é dito ainda estacionário, quando as suas propriedades são invariantes ou não evolutivas com o tempo, e podem ser classificados como estacionários de primeira ordem ou na média, estacionários de segunda ordem ou na média e covariância, ou estacionário de ordem  $N$ , considerando estacionaridade nos momentos de ordem  $N$ .

Se a média  $\bar{X}(t)$  no tempo  $t$ , e  $\bar{X}(t + \tau)$  no tempo  $(t + \tau)$ , de um processo, estimados pelas equações (3.2a) e (3.2b) apresentadas a seguir, convergem para a média  $u$  da população com probabilidade um, ou seja  $P(\bar{X}(t) = u) = 1$ , e  $P(\bar{X}(t + \tau) = u) = 1$  para  $m \rightarrow \infty$  independente da posição de  $t \in [0, T]$ , o processo pode ser denominado estacionário na média.

$$\bar{X}(t) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_i(t) \quad (3.2a)$$

$$\bar{X}(t + \tau) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_i(t + \tau) \quad (3.2b)$$

Se a covariância estimada pela expressão (3.3) é independente da posição de  $t$ , mas depende da defasagem  $\tau$  (lag), diz-se que existe estacionaridade na covariância, porém se ocorre estacionaridade tanto na média, como na covariância o processo é dito estacionário de segunda ordem.

$$\text{Cov}(X_t, X_{t+\tau}) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_i(t) X_i(t + \tau) - \bar{X}(t) \bar{X}(t + \tau) \quad (3.3)$$

De uma forma geral, as séries temporais hidrológicas possuem características definidas a partir de suas diversas componentes determinísticas e estocásticas. As componentes determinísticas podem ser consideradas como os transientes (tendências e/ou saltos) e as periodicidades que se podem apresentar nas séries. Como transientes pode-se indicar as tendências na média e no desvio padrão e os saltos que se podem atribuir a inconsistências da série. Já a periodicidade pode incidir nos parâmetros estatísticos, média, desvio padrão, e coeficiente de autocorrelação, principalmente atribuindo-se este fato ao ciclo anual de rotação da terra em torno do sol. As componentes estocásticas podem ser ainda classificadas em dependentes e independentes.

As séries anuais de precipitação e vazão, desde que eliminados os transientes e tendências são aproximadamente séries temporais estacionárias, Yevjevich (1972c)

As sequências mensais relativas aos mesmos fenômenos são possuidoras geralmente de uma periodicidade de doze meses na média e no desvio padrão, portanto, somente se conseguirá a sua estacionaridade após um tratamento especial, no que se refere a remoção desta componente. Porém somente as sequências mensais de vazões de rios perenes podem ser tratadas desta maneira, já que o caso dos rios intermitentes precisa de um outro tratamento o que será mostrado no desenvolvimento deste trabalho.

As tendências podem ser estudadas nas séries anuais e geralmente podem ser removidas pela soma algébrica dos valores originais a tendência. Podem ser representadas por

polinômios ajustados pelo método dos mínimos quadrados, ou por expressões utilizando o método das médias móveis. Caso a tendência for identificada e confirmada tendo justificativa física, a mesma poderá ser removida.

Os saltos de forma semelhante, podem ser removi — dos pela soma algébrica dos valores originais ao salto se tam**—**bém for identificado e confirmado através de uma justificati—va física.

No caso de séries mensais a existência de periodicidade pode ser identificada graficamente e testado através da igualdade de parâmetros usando os testes t-Student e o teste F, e podem ser removidos pela utilização de modelos de remoção de periodicidade, paramétricos ou não paramétricos , Yevjevich (1972b).

Com a remoção dos componentes determinísticos da série tal como, tendências e/ou saltos e periodicidade, a sé—rie temporal estacionária ainda não pode ser representada co—mo um processo estocástico independente, pois poderá existir entre seus consecutivos valores uma dependência que geralmen—te é considerada linear.

A dependência das séries temporais no tempo pode ser representada pelos esquemas de médias móveis, pelos modelos autoregressivos, ou de ambos simultaneamente, que de acordo com o modelo selecionado será removido obtendo-se a compo—nente estocástica independente ou aleatória, conseqüentemente ajustada a uma distribuição de probabilidade.

Uma vez analisada a estrutura da série, a geração de novas séries pode ser realizada por um processo de geração

de números aleatórios com distribuição semelhante a da componente independente, Naylor e Thomas (1971), adicionando a estes, os componentes identificados na análise já desenvolvida.

No caso de séries mensais em rios intermitentes, característica marcante no regime hidrológico dos rios do Nordeste brasileiro, as séries hidrológicas podem ser modeladas considerando uma mistura de dois tipos de eventos: o de ocorrência ou não de vazão e o de vazões condicionadas às ocorrências das mesmas.

Este tipo de modelamento é apresentado com mais detalhes a seguir.

### 3.2.1 Um Modelo para Estrutura de Séries de Vazões em Rios Intermitentes

Um dos primeiros trabalhos desenvolvidos para este tipo de séries foi apresentado por Clarke (1973). No presente trabalho é apresentado uma análise de estrutura mais geral dirigida à identificação dos elementos que se fazem necessários à aplicação do tipo de modelo proposto por Clarke (1973), acrescido de uma série de modificações para adaptá-lo às características dos rios do Nordeste.

#### a) Transientes

De acordo com o descrito em seção anterior, as séries temporais hidrológicas podem em muitos casos apresentar transientes tais como tendências e saltos, ocasionados por inconsistência e não homogeneidade de dados e sua identificação poderá ser realizada através do método gráfico ou analiticamente, como o teste de igualdade de médias ( $\bar{X}_1 = \bar{X}_2$ ) e de

variâncias ( $S_1^2 = S_2^2$ ) da série anual.

As hipóteses formuladas para o caso são:

Hipóteses nulas  $H_0$ :  $\bar{X}_1 = \bar{X}_2$  Para média, e  $S_1^2 = S_2^2$  Para variância.

Hipóteses contrárias  $H_1$ :  $\bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$  Para média e  $S_1^2 \neq S_2^2$  Para variância

Quando as hipóteses nulas são aceitas poderemos concluir a inexistência de transientes, conseqüentemente os dados são homogêneos e consistentes, caso contrário poderá haver transiente justificando a não homogeneidade e/ou inconsistência dos mesmos, no entanto a remoção do transiente somente deverá ser realizada se existe comprovação real física para o fato. No trabalho apresentado por Salas La Cruz e Yevjevich (1972), a análise de tendência é apresentado com mais profundidade.

#### b) Probabilidade de Ocorrência de Vazões:

A probabilidade  $P_j(Q_t)$  de que as vazões mensais em cada um dos doze meses do ano, sejam maiores ou iguais a um determinado nível de truncamento  $Q_t$  que pode ser considerado como o limite mínimo de utilização, é estimada pela relação a seguir:

$$P_j(Q_t) = n/N \quad (3.4)$$

Onde  $n$  é o número de observações no mes  $j$  superiores ou igual a  $Q_t$ ;  $N$  o número total de observações. Assim esta vem a constituir-se a probabilidade de ocorrência ou não de vazão em cada mes  $j$ ,  $j = 1, 12$  obtido do registro de vazões históricas.

## c) Dependência

Os parâmetros estatísticos das séries sendo função dos momentos centrais e com respeito a origem, podem ser estimados pela expressão:

$$M_j^k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{i,j} - X_0)^k \quad (3.5)$$

onde

$M_j^k$  - Momento de ordem  $k$ , em relação ao mes  $j$ ;

$X_{i,j}$  - Valores observados;

$k$  - Ordem do momento  $k = 1, 2, 3, 4$ ;

$j$  - Correspondente ao mes  $j = 1, 2, \dots, 12$ ;

$i$  - Correspondente ao ano  $i = 1, 2, \dots, N$ ; e

$X_0$  - Centralização do momento.

Caso  $X_0$  seja zero diz-se que o momento é em relação a origem, porém se igual a média diz-se centrado na média.

Os parâmetros estatísticos estimados por (3.5) de vem ser corrigidos para o caso de pequenas amostras de acôrdo com Yevjevich (1972a).

A análise de correlação, é definida como a associação entre duas ou mais variáveis, (ou conjuntos de valores), em que parte de suas variações são explicadas através das outras variáveis correlacionadas e os efeitos e erros encontrados

nos pontos obtidos por esta técnica é atribuído pela parte da variância não explicada pelo modelo, portanto a estimação dos coeficientes de correlação mes a mes pode ser obtida a partir da expressão:

$$r_j = \frac{\text{cov}(X_{j-1}, X_j)}{[\text{Var}(X_{j-1}) \text{Var}(X_j)]^{1/2}} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{j-1} - \bar{X}_{j-1})(X_j - \bar{X}_j)}{[\sum_{i=1}^N (X_{j-1} - \bar{X}_{j-1})^2 \sum_{i=1}^N (X_j - \bar{X}_j)^2]^{1/2}} \quad (3.6)$$

Onde  $X_{j-1}$  e  $X_j$  são as variáveis relacionadas no mes  $j-1$  e  $j$ , e  $\bar{X}_{j-1}$  e  $\bar{X}_j$  as suas respectivas médias, e  $N$  o número de observações em cada mes. Deve-se salientar que no caso de rios intermitentes somente se pode estimar a correlação entre pares concorrentes de ocorrência de vazões.

O coeficiente de regressão linear poderá ser expresso a partir do coeficiente de correlação como:

$$b_j = r_j \quad Sx_j / Sx_{j-1} \quad (3.7)$$

Onde  $b_j$  é o coeficiente de regressão linear entre as variáveis  $X_{j-1}$  e  $X_j$ ;  $r_j$  o coeficiente de correlação entre as mesmas variáveis; e  $Sx_{j-1}$  e  $Sx_j$  respectivamente os seus desvios padrões..

A dependência dos valores sequenciais das vazões para os rios intermitentes considerou-se representada pelo modelo auto regressivo de ordem um com periodicidade no coeficiente de correlação removida pelo método não paramétrico e o tal modelo aplicado somente para os casos de ocorrência de va

zão no mes  $j$ , quando houver ocorrência de vazão também no mês  $J-1$ . Assim temos:

$$\epsilon_{i,j} = \bar{x}_j \epsilon_{i,j-1} + \xi_i (1-r_j^2)^{1/2} \quad (3.8)$$

Sendo:

$$\epsilon_{i,j} = \frac{X_{i,j} - \bar{X}_j}{Sx_j} \quad e \quad \epsilon_{i,j-1} = \frac{X_{i,j-1} - \bar{X}_{j-1}}{Sx_{j-1}}$$

$X_{i,j-1}$  e  $X_{i,j}$  - Observações correspondentes ao ano  $i$ , e meses  $j-1$  e  $j$ ;

$\bar{X}_{j-1}$  e  $\bar{X}_j$  - Médias mensais das observações no mes  $j-1$  e  $j$ ;

$Sx_{j-1}$  e  $Sx_j$  - Desvios padrões das observações durante o mes  $j-1$  e  $j$ ;

$r_j$  - Coeficiente de correlação entre os valores mensais do mes  $j-1$  e  $j$ ;

$\xi_i$  - Variável pseudo aleatória com distribuição normal com média zero e desvio padrão um.

#### d) Distribuição de Probabilidades

A partir da distribuição de frequência das variáveis hidrológicas, poderemos condensar uma série de informações significativas no estudo destas sequências. Para o caso



das vazões mensais se faz necessário modelar o seu comportamento aleatório, a partir das funções de distribuição de probabilidade preferencialmente as que tenham o menor número de parâmetros estimados, e o teste do ajustamento realizado pelos métodos já conhecidos, do Qui-quadrado e Kolmogorov - Smirnov.

Neste trabalho utilizou-se as seguintes distribuições

- Normal ; e
- Log - normal com dois parâmetros, devido ao escasso número de valores para a estimação da assimetria.

A função de distribuição de probabilidade normal é representada pela seguinte expressão:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\left[\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2}\right]} \quad (3.9)$$

$$-\infty < x < \infty$$

Com  $u$  sendo o valor esperado ou média da população e  $\sigma$  o desvio padrão, estimados com  $\bar{X}$  e  $S$  da amostra.

A estimação dos parâmetros  $\bar{X}$  e  $S$  é feita através de

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (3.10)$$

$$S = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \right]^{1/2} \quad (3.11)$$

Quando os logaritmos da variável  $X_i$ , tem distribuição normal, então diz-se que a variável obedece a distribuição log - normal e a função de densidade para o caso de dois parâmetros é:

$$f(x) = \frac{1}{x \sigma_n \sqrt{2\pi}} e^{-\left[ \frac{1}{2} \left( \frac{\ln x - u_n}{\sigma_n} \right)^2 \right]} \quad (3.12)$$

$$0 < x < \infty$$

Os parâmetros  $u_n$  e  $\sigma_n$  são a média e desvio padrão dos logaritmos dos valores  $X_i$ , estimados por:

$$\bar{X}_n = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln X_i \quad (3.13)$$

$$S_n = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\ln X_i - \bar{X}_n]^2 \right\}^{1/2} \quad (3.14)$$

Para testar o ajustamento entre a distribuição de frequência dos valores e a função de probabilidade teórica selecionada utilizou-se os testes do Qui-quadrado e de Smirnov - Kolmogorov.

No caso do teste do ajustamento pelo método do Qui-quadrado, a variável em estudo pode ser dividida em inter

vãlos de classe de igual probabilidade  $P = 1/k$  ou de classe  $\Delta x$ .

Neste trabalho optou-se pelos intervalos de classe de igual probabilidade.

As frequências relativas  $f_i$ ,  $i=1, 2, \dots, k$ , para cada intervalo de classe são obtidas a partir dos dados observados, e as frequências absolutas de cada intervalo de classe são representadas por  $N_i$ , e finalmente a frequência absoluta esperada da distribuição teórica, por  $NP_i$ .

O estatístico  $\chi^2$  com distribuição de probabilidade  $\chi^2$  com  $(k - m - 1)$  graus de liberdade (GL), sendo  $m$ , o número de parâmetros estimados. O  $\chi^2$  é estimado por:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(N_i - N_i P)^2}{N_i P} \quad (3.15)$$

Para estimar os  $k$  intervalos de classe de igual probabilidade determina-se os  $k+1$  limites de classe para a distribuição teórica pelo uso da função inversa.

A medida de avaliação é feita através da comparação do valor calculado por (3.15), com um valor crítico tabelado, obtido da distribuição Qui-quadrado, para um dado nível de significância  $\alpha$  e grau de liberdade GL. Caso o valor de  $\chi^2$  calculado for inferior ao crítico  $\chi^2$ , aceita-se a hipótese de que a distribuição empírica ajusta-se a teórica, caso contrário rejeita-se.

No caso do teste de Smirnov - Kolmogorov emprega-se a sequência  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , do evento ordena-se estes va-

lores em ordem decrescente e estima-se os valores de  $P(X_n) = \frac{m}{N}$ , semelhantemente encontra-se da própria amostra os valores de  $F(x)$ , a partir da função de probabilidade teórica ajustada. As diferenças entre os valores  $[F(x) - P(x)]$  possuem uma distribuição de amostragem constituindo o estatístico de interesse.

Seja:

$$\Delta = \text{Max} \left| F(x) - P(x) \right| \quad (3.16)$$

A verificação do ajustamento é feita a partir da determinação do nível de significância  $\alpha$ , igualmente ao teste do Qui-quadrado, e do grau de liberdade GL que possibilitam o encontro do  $\Delta$  crítico da distribuição teórica. Caso o valor calculado de  $\Delta$  for inferior ao crítico, considera-se a hipótese do bom ajustamento.

De acordo com as distribuições de probabilidades teóricas descritas e os testes de ajustamento proceder-se-á o ajuste a cada uma das séries mensais  $j$ ,  $j=1, 12$ , com valores não nulos de vazões.

### 3.2.2 Geração de Vazões Mensais em Rios Intermitentes

O caráter aleatório das vazões afluentes a qualquer sistema de aproveitamento de recursos hídricos, deve ser identificado e estudado sob os diversos efeitos que poderão causar sobre o melhor aproveitamento daqueles. Entre estes e feitos poderemos citar as situações críticas como estiagens de longa duração e cheias. Neste trabalho visa-se interesse so

mente às situações críticas ocasionadas pelas estiagens.

A utilização da sequência histórica para o caso de regularização plurianual por fornecer somente uma resposta ao sistema, pode apresentar deficiências devido a :

- a) O registro histórico de vazões ser bastante curto comparadamente a vida econômica dos projetos, em alguns casos.
- b) Na elaboração dos projetos não é possível idealizar-se os riscos envolvidos, pela probabilidade quase nula de que, a sequência original venha ocorrer da mesma forma no futuro.

Assim, a estimação do volume útil de armazenamento, para regularização plurianual que deveria ter um reservatório destinado a satisfazer uma determinada demanda, mesmo nos períodos de estiagens sem que ocorra o esvaziamento sob determinado nível de confiabilidade, não é recomendável realizar-se com a série histórica unicamente. Portanto a geração de novas séries temporais mantendo as características e parâmetros significativos da série histórica permite estimar o volume útil de regularização necessário mais adequadamente.

No caso de reservatório plurianual já construído é conveniente também a análise da confiabilidade de satisfação das demandas, através do uso de séries geradas.

Entre os diversos modelos de geração já desenvolvidos na maioria para caso de rios perenes, poderemos citar o proposto por Thomas - Fiering (1962), que considera a estrutura da série hidrológica sem transientes, com periodicidade na

média, no desvio padrão e no coeficiente de correlação de ordem um, e a componente estocástica independente, com distribuição normal.

Para o caso de rios intermitentes, o modelo proposto por Clarke (1973) como uma modificação do modelo de Thomas-Fiering, pode ser utilizado. É recomendável que se tenha um registro histórico com número razoável de observações a fim de que os parâmetros sejam estimados com adequada precisão.

Em sua aplicação são utilizadas as médias mensais e desvios padrões correspondentes, os coeficientes de correlação e regressão linear entre os sucessivos meses da série original, e mais a probabilidade em cada mes das vazões serem iguais ou superarem o valor estabelecidos como nível de truncamento,  $Q_t$ .

A geração das vazões dar-se da seguinte forma:

- (i) - Gera-se números pseudo aleatórios  $\epsilon_t$ , com distribuição uniforme (0,1) e compara-se a probabilidade  $P_j$  em cada mes das vazões serem iguais ou superiores ao valor  $Q_t$ , com cada número pseudo aleatório  $\epsilon_t$ , assim a vazão sintética será considerada nula quando a comparação não satisfizer a imposição abaixo:

$$\text{Se } \{ \epsilon_t \leq P_j \}, Q_{t,j} = 0$$

Onde ;

$P_j$  é determinado pela expressão (3.4), e  $Q_t$  é a vazão arbitrada correspondente ao nível de truncamento.

(ii) - No caso em que  $\{\epsilon_t > P_j\}$ , indica a ocorrência de deflúvios e seu módulo, é determinado pelas expressões (3.17) ou (3.18), a serem apresentadas a seguir conforme ocorrência ou não de vazão no mês anterior.

(ii-a) - A expressão (3.17) será utilizada para determinação do flúvio no mes  $j$ , quando este for o primeiro do ano a ter ocorrência, ou não se tiver ocorrência de vazão no mes anterior.

Então se seleciona um número pseudo - aleatório  $\epsilon_i$  com distribuição normal, para uma distribuição com média  $\bar{Q}_j$  e desvio padrão  $S_j$  correspondente ao mes  $j$ , para obter o valor do deflúvio pela expressão abaixo:

$$Q_{i,j} = \bar{Q}_j + S_j \epsilon_i \quad (3.17)$$

Onde

$\bar{Q}_j$  e  $S_j$  são estimados pela expressão (3.5) e corrigidos para o caso de amostras pequenas e  $Q_{i,j}$  sendo a vazão gerada para o ano  $i$  e mes  $j$ , com  $i=1, \dots, N$  e  $j=1, 12$ .

(ii-b) - Se ocorre deflúvio no mes  $j$  e se também ocorreu no mes  $j=1$  usa-se um modelo auto regressivo linear para obter-se o valor gerado pela expressão abaixo:

$$Q_{i,j} = \bar{Q}_j + b_j (Q_{i,j-1} - \bar{Q}_{j-1}) + \epsilon_i S_j (1 - r_j^2)^{1/2} \quad (3.18)$$

Onde ;

$Q_{i,j}$  e  $Q_{i,j-1}$  - representam os valores mensais das vazões geradas no ano  $i$ , respectivamente para os meses  $j$  e  $j-1$ ;

$\bar{Q}_j$  e  $\bar{Q}_{j-1}$  - representam as médias das vazões no registro histórico para o mes  $j$  e  $j-1$ ;

$S_j$  - representa o desvio padrão dos valores mensais no mes  $j$ ;

$b_j$  e  $r_j$  - representam o coeficiente de regressão linear e coeficiente de correlação mes a mes para os meses  $j$  e  $j-1$ ;

$\varepsilon_i$  - é uma variável aleatória com distribuição normal com média zero e variância um.

As aplicações iniciais neste trabalho do modelo proposto por Clarke (1973), indicaram algumas deficiências, no tocante a preservação das características básicas da série histórica, portanto foram estudadas modificações ao modelo. Resultados mais satisfatórios foram obtidos quando o referido modelo foi utilizado com duas modificações aqui consideradas:

- a) Transformação logaritmica das vazões, pois a distribuição de probabilidade log - normal ajustou-se melhor as vazões mensais, e os coeficientes de correlação mes a mes e regressão linear dos logaritmos das observações são estimados e utilizados para gerar vazões.



- b) Utilização da equação de deflúvio independentes, equação (3.17), considerando-se o logarítmo para o deflúvio no mes  $j$ , não só quando este for o primeiro do ano, mas também no caso do valor anterior ser nulo.

### 3.3 Partes Constituintes de um Sistema de Irrigação

Denomina-se sistema de irrigação, ao conjunto constituído pelas fontes de água disponíveis, infra estrutura hidráulica, solo, área de cultivo que, a partir de um planejamento e operação convenientes objetiva um incremento da produção agrícola. Portanto, numa concepção geral o sistema de irrigação pode compor-se dos elementos descritos a seguir, conforme Figura 3.1, nada impedindo deixar de existir alguns destes componentes, Flores (1972), e Olivier (1972).

- a) Reservatório de regularização. - É uma estrutura geralmente implantada, em um curso d'água que se destina a regularizar as vazões de estiagem, a fim de atender aos consumos provenientes das necessidades humanas ou de uma atividade qualquer.
- b) Obras de captação. - É a parte do sistema onde as águas são coletadas e dirigidas ao distrito de irrigação. Quando a topografia não for satisfatória ou ocorrer a exploração de águas subterrâneas faz-se necessário a instalação de estação de bombeamento, podendo, assumir as mais variadas formas, conforme a natureza das águas utilizadas a partir das instalações.

lações e mais ainda, dos recursos disponíveis para a obra.

- c) Canal principal - Denomina-se o canal que encaminha as águas da captação ao distrito de irrigação.
- d) Canal mestre - Representa a parte do canal principal localizado no interior do distrito de irrigação.
- e) Canais secundários - São as derivações do canal mestre que irão alimentar cada setor do sistema.
- f) Canais de repartições - São aqueles que abastecemos diversos conjuntos de explorações.
- g) Canais de distribuições - São os responsáveis pela distribuição de água a cada exploração do sistema.
- h) Rede de drenagem - Denomina-se ao conjunto de canais e condutos responsáveis pela captação do excesso de água do solo, enviando-o a um local conveniente. Em muitos casos dispensa-se sua construção.
- i) Distrito de irrigação - Constitui toda a área potencialmente irrigável do sistema de irrigação.
- j) Setor - Denomina-se as diversas frações de área do distrito de irrigação com suprimento hídrico e cultivos previamente fixados de acordo com um planejamento (denominado também de região).
- l) Exploração - constitui a unidade ou elemento de área mais simples do sistema.

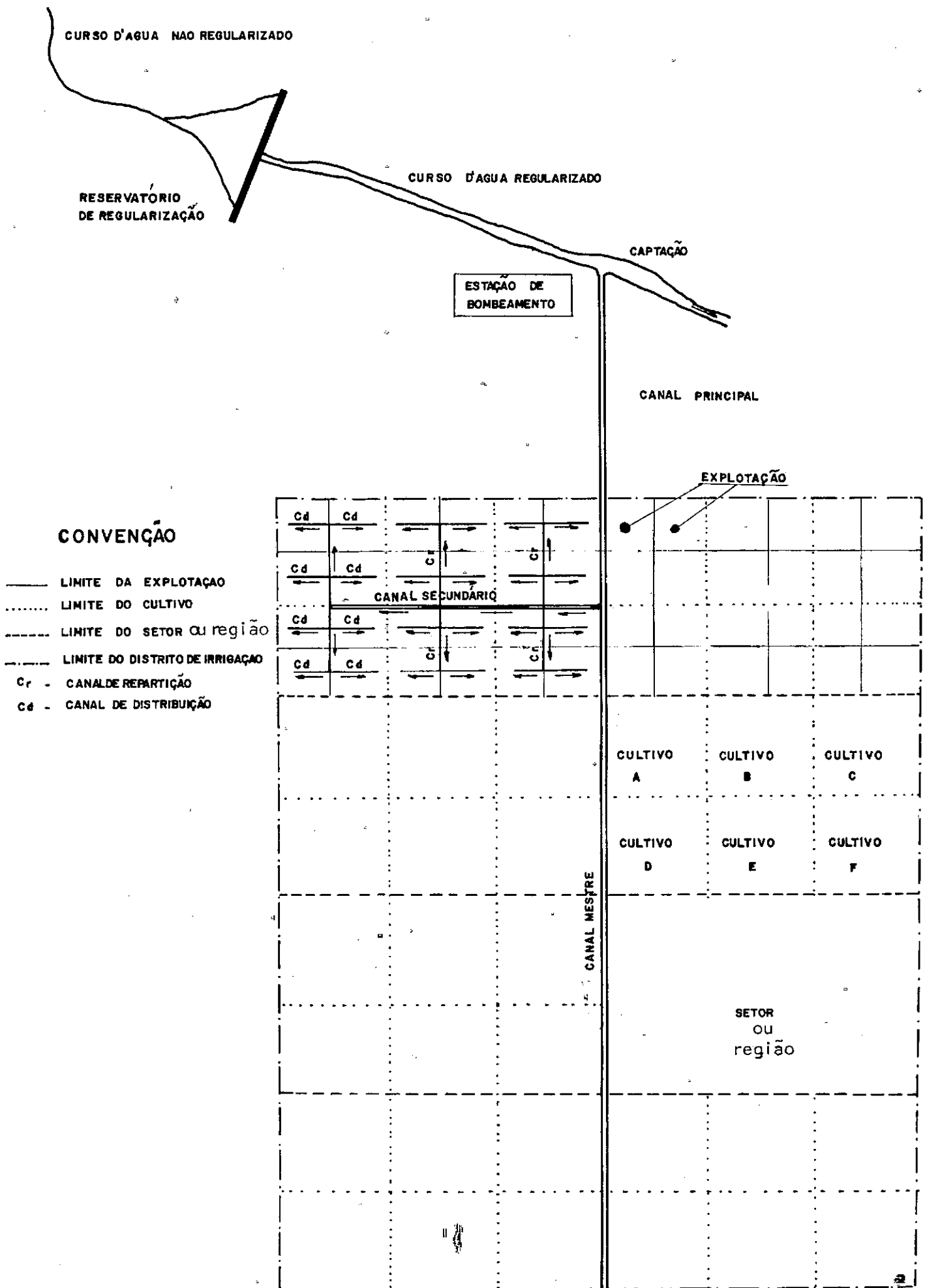


FIG.3.1 - DIAGRAMA DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

### 3.1 Reservatórios de Regularização nos Sistemas de Irrigação

No projeto de aproveitamento de reservatórios de regularização dois problemas básicos podem ser apresentados:

- a) Conhecida as vazões de entrada no reservatório , calcular o volume deste, a atender determinada demanda (de irrigação por exemplo), com um  dado nível de risco;
- b) Dado o volume do reservatório, determinar a máxima demanda, podendo esta ser constante, a ser satisfeita sob um dado risco, ou em outras pala- vras (no caso de irrigação), a máxima área que po- deria ser cultivada sem que houvesse os prejuí- zos causados por falta de água.

Vários métodos empíricos e analíticos, tem-se desen- volvido tentando, solucionar estes problemas, alguns deles uti- lizando o conceito de período crítico que pode ser definido co- mo a maior sequência de meses em que ocorre a situação mais desfavorável de afluências, iniciando-se com o reservatório em

nível máximo útil e findando com sua reserva mínima ou nula. Sua determinação é feita a partir das sequências de vazões afluentes ao reservatório, associadas às demandas e perdas em que se tem registrado estes dados, sendo daí necessário uma regularização anual ou plurianual. Neste trabalho, será discutido principalmente o caso de regularização plurianual.

Uma das primeiras tentativas desenvolvidas inicialmente neste sentido, foi o método proposto por Rippl e que tem sido bastante utilizado. Este método faz a estimação do volume ( $V$ ), necessário para suprir um período seco, através de um diagrama semelhante ao apresentado na Figura 3.2.

A determinação deste volume dar-se-á da seguinte forma:

- a) Em um sistema de eixos ortogonais, põe-se em ordenadas os valores acumulados dos volumes afluentes ao reservatório em cada instante  $i$ , e nas abscissas o tempo, constituindo a curva de deflúvios acumulados.
- b) Para uma descarga regularizada de acordo com uma demanda estipulada e constante, constroi-se a reta representativa da curva de demandas acumuladas onde a tangente desta reta representa o seu módulo.
- c) O volume útil a atender aquela descarga, é o correspondente a maior diferença existente entre, a tangente a um pico da curva de deflúvios acumulados — com inclinação igual ao da reta de demandas acumuladas e, a tangente com mesma inclinação na máxima depressão seguinte ao pico conforme mostrado na Fi

gura 3.2

### 3.4.1 A Técnica dos Picos Sequenciais

Thomas (1963), em estudos posteriores, utilizou a formulação de Rippl (1888), através de computação digital, tornando mais prático o emprego daquela metodologia.

Dado o registro histórico das vazões afluentes ao reservatório, e, as demandas requeridas em um período de  $T$  anos, poderemos obter o volume mínimo do reservatório a satisfazer estas demandas.

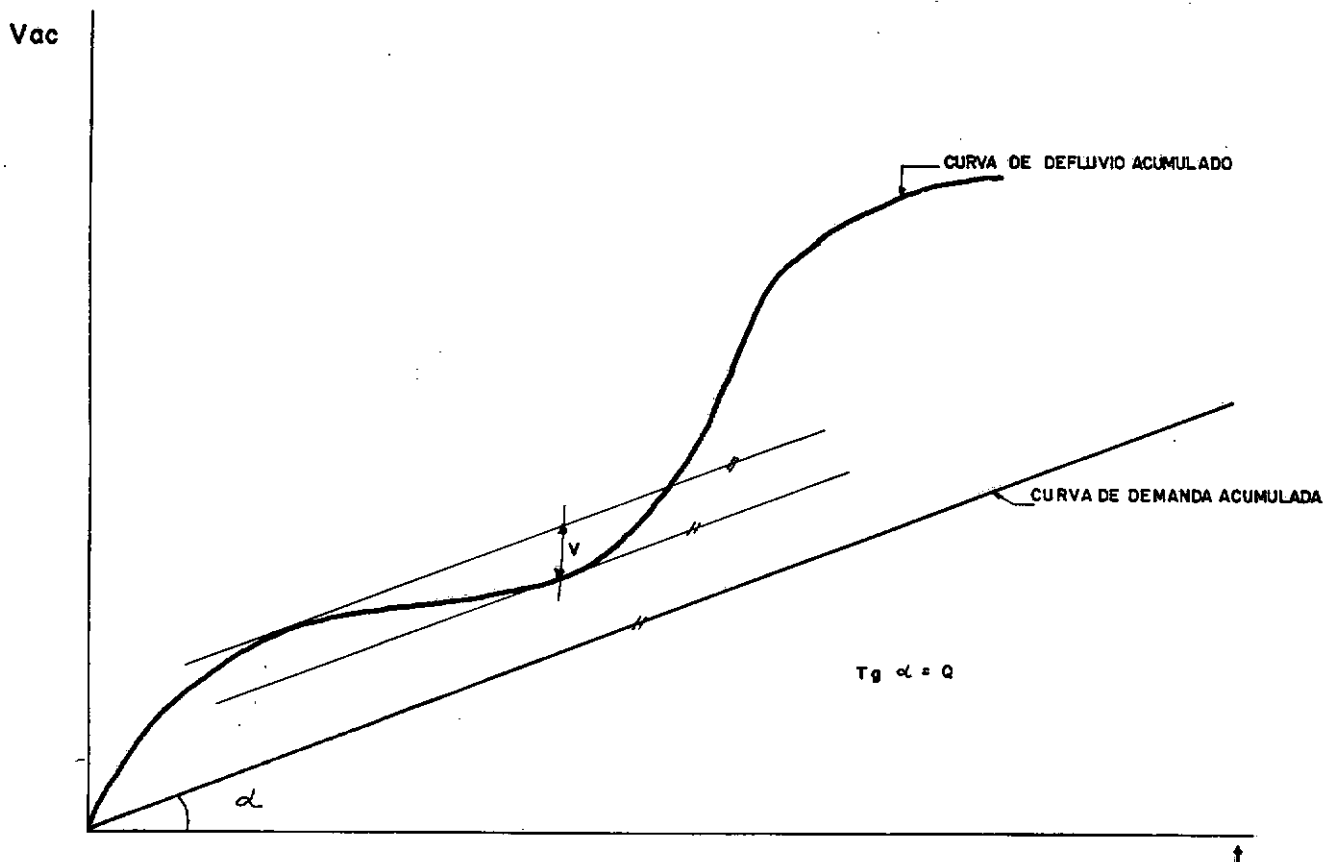


FIG.3.2 DIAGRAMA DE MASSAS ACUMULADAS OU DE RIPPL

O caso inverso desta aplicação, será a máxima regularização possível de obter-se, a partir do registro das afluências no período  $T$ , para um volume do reservatório já estabelecido. Todavia, neste caso a máxima regularização possível é determinada pelo método de tentativas e erros.

Considera-se nesta formulação, que as afluências  $X_i$ , e as demandas  $D_i$ , periódicas ou constantes, repetem-se num outro grupo sucessivo de  $T$  anos onde nas demandas podem estar incluídas numa primeira aproximação, as possíveis perdas  $P_i$ , como as resultantes da evaporação  $E_i$ , percolação  $I_i$ , e vazamentos  $Va_i$ , resultantes da operação, seja:

$$P_i = E_i + I_i + Va_i \quad (3.19)$$

As demandas podem ser representadas ainda, como uma fração do deflúvio médio anual, já computadas as perdas

$$D_i = \alpha_i \bar{X} \quad (3.20)$$

Onde:

$\alpha_i$  é a fração pelo qual deve-se multiplicar o volume médio anual, para obtenção da demanda no intervalo  $i$ .

Assim a equação de continuidade do reservatório será:

$$V_i = V_{i-1} + X_i - D_i \quad (3.21)$$

Onde:

$X_i$  - Volume de água correspondente ao deflúvio no intervalo  $i$  ;

$D_i$  - Volume de demandas no intervalo  $i$  ; e

$V_i$  - Volume armazenado no intervalo  $i$ .

- O algoritmo para o caso de um reservatório vem a ser:

a) Determinação das diferenças  $(X_i - D_i)$ , para cada período  $1 \leq t \leq 2 T$  e o somatório dos balanços acumulados ou seja:

$$S_t = \sum_{i=1}^t (X_i - D_i) \quad (3.22)$$

Caso se use uma reservação inicial a equação acima passará a ser:

$$S_t = V_{inicial} + \sum_{i=1}^t (X_i - D_i) \quad (3.23)$$

b) Identificação do primeiro pico  $P$  de  $S_t$  com

$$1 < t < 2 T$$

c) Localização do pico sucessivo  $P_2$ , sendo que a condição  $P_2 > P_1$  deverá ser satisfeita.

d) Entre os picos  $P_1$  e  $P_2$  encontra-se uma depressão que, corresponderá ao valor mínimo de  $S_t$  o qual é designado por  $T_1$ . Posteriormente calcula-se a diferença  $P_1 - T_1$ .

e) A mesma forma empregada para a identificação dos picos  $P_1$  e  $P_2$  será aplicada para  $P_3$  tal que  $P_3 > P_2$ .

f) Entre  $P_3$  e  $P_2$  outra depressão  $T_2$  será identificada e consequentemente  $P_2 - T_2$ .



g) Para os picos e depressões seguintes até o final da série de deflúvios para o período  $2T$ , aplica-se a mesma técnica para obter os  $P_j - T_j$ ,  $j=1, \dots, N_1$ , sendo  $j$  o índice que determina a sequência de picos  $P$  e depressões  $T$ .

h) A capacidade do reservatório será então:

$$V_m = \text{Max} (P_j - T_j) = P_m - T_m \quad (3.24)$$

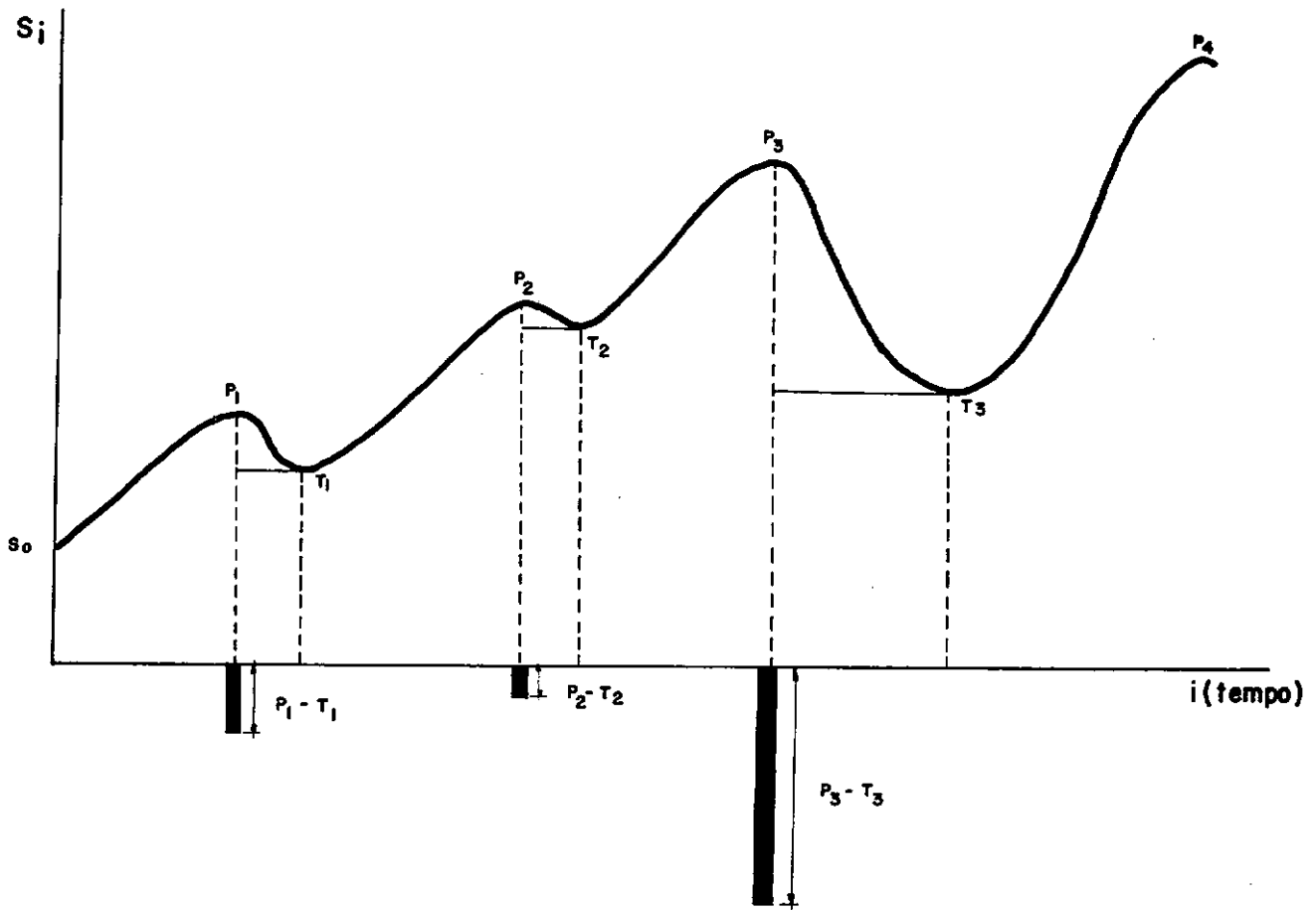
j) O reservatório com capacidade  $V_m$ , estará completamente vazio ao final do primeiro período em que ocorre a mínima depressão  $T_m$ , entre o par de picos subsequentes  $P_m$  e  $P_{m+1}$ . Ao final do próximo período o armazenamento estará aumentado por uma quantidade igual ao influente  $(X_i - D_i)$ , sendo que este é menor que  $V_m$ ; se este por acaso for maior que  $V_m$ , o armazenamento passará para  $V_m$  e o restante é vertido.

k) O armazenamento  $V_i$  ao final do período  $i$ , e o vertido  $W_i$  durante o período são:

$$V_i = \text{Min} [V, (V_{i-1} + X_i - D_i)] \quad (3.25)$$

$$W_i = \text{Max} [0, (X_i - D_i - V_{i-1})] \quad (3.26)$$

Na Figura 3.3 é mostrado a representação gráfica de execução do algoritmo, onde  $P_3 - T_3 > P_1 - T_1 > P_2 - T_2$  e o volume útil do reservatório será aquele representado pela maior diferença entre pico e depressão.



**FIG.3.3-REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO ALGORITMO DOS PICOS SEQUÊNCIAIS**

### 3.4.2 Estudo de Regularização de Vazões com Séries Geradas

Vale ressaltar que, a utilização ~~com~~ da série histórica no algoritmo dos picos sequenciais para o caso de regularização plurianual nos faz obter resposta puramente baseada nos dados observados.

Com o uso de técnicas de geração de séries sintéticas explicadas anteriormente, pode-se criar situações bem distintas e mais críticas em certos casos que a histórica, o que constitui elemento importante ao estudo ~~de~~ avaliação dos riscos.

Para as  $N$  séries geradas com duração igual a vida útil do projeto por exemplo, pode-se estimar o volume de armazenamento ou a máxima regularização possível dependendo do tipo de problema com um nível de risco selecionado. Este nível geralmente é de 90%.

### 3.5 Estimação das Demandas de Irrigação

No planejamento dos projetos de irrigação, sabe-se que a quantidade de água necessária a satisfazer os cultivos não depende somente do clima e da espécie vegetal, portanto, ao se considerar água para este fim, deve-se dispor de uma quantidade superior aquela para corresponder à evapotranspiração e às in~~evitáveis~~ perdas por infiltração, percolação e escoamento superficial que podem variar, de acordo com a eficiência do projeto a ser descrita a seguir. A pluviometria, juntamente com o método de aplicação de água, o dimensionamento das estruturas hidráulicas e dos equipamentos e a operação do sistema, também exercem influência significativa sobre estas quantidades.

As demandas podem ser, desta feita, discretizadas de duas maneiras: demandas dos cultivos e demandas de projeto.

#### a) Demandas dos Cultivos

É do conhecimento geral que a forma mais eficiente de se conhecer as necessidades reais de consumo d'água pelos cultivos é medindo diretamente estes consumos através do ciclo vegetativo dos mesmos de acôrdo com os períodos de desenvolvimento da irrigação. O estudo destas necessidades é fator relevante, quando se deseja caracterizar aqueles cultivos na localidade onde se desenvolve um projeto de aproveitamento agrícola.

Portanto, até não se ter estes valores medidos, é preciso recorrer a outros métodos indiretos, que por correlação nos possa fornecer estimativas suficientemente confiáveis.

Estas quantidades dependem diretamente dos seguintes elementos:

- Pluviometria da região;
- Clima (tendo repercussão sobre a evapotranspiração)
- Espécie cultural e seu desenvolvimento (tendo repercussão sobre a água de constituição e evapotranspiração);
- Natureza do solo (tendo repercussão na percolação escoamento e evapotranspiração);
- Habilidade do agricultor relativo a utilização da água (tendo repercussão sobre percolação, escoamento e evapotranspiração).

Em pesquisas mais recentes relacionadas ao consumo de água pelos cultivos, grande ênfase é dado a variação das dis-

ponibilidades hídricas para as plantas tendo em vista a influência das reservas subterrâneas, os elementos climatológicos e as etapas de desenvolvimento vegetal. No tocante as técnicas estimativas da evapotranspiração através de equações de regressão, pode-se citar as realizadas por Penman, Turc, Thornthwaite, e Blaney-Cridlle, e outras, que correlacionam tal fenômeno com elementos climatológicos e são frequentemente utilizados nos estudos de uso consuntivo da água Jensen (1973).

Neste trabalho, foi utilizado o método proposto por Blaney-Cridlle, pelas características da região do projeto satisfazer as exigências de sua aplicação e a relativa facilidade de aquisição dos dados necessários. Esta técnica foi também utilizada nos estudos do projeto D.N.O.C.S. (1977).

Este método indireto de estimativa, utiliza dados climatológicos de temperatura média do ar, num período especificado e a porcentagem de iluminação anual que se produz durante o mesmo. Sua expressão matemática é a seguinte:

$$E T_c = K_c P(8, 12 + 0,457 T) \quad (3.27)$$

Onde:

$E T_c$  é a evapotranspiração do cultivo dado em mm para um determinado período;  $K_c$  é o coeficiente empírico (dependente do cultivo, época de seu desenvolvimento e região);  $P$  é a porcentagem de iluminação anual que se produz durante o período especificado para

aquela localidade. [conforme a Tabela 11.11 Israelsen (1973)]; e  $T$  é a temperatura média no período em  $^{\circ}\text{C}$ .

Um desenvolvimento mais apurado da técnica de Blaney-Cridlle (método modificado), foi proposto pela FAO (1977) onde se considera simultaneamente sobre a evapotranspiração, os efeitos do vento, temperatura, humidade relativa insolação, conforme resultados apresentados também na Seção 4.3.2.

A quantidade de água necessária ao cultivo ou dotação de rega, poderá ser expressa através de três formas a saber:

- Quantidade de água que se faz necessário por período, ou ano dados em  $\text{m}^3/\text{ha}$ , ou em mm de altura de chuva.
- Quantidade a ser fornecida em cada irrigação (dando o número e o turno de rega), dado em  $\text{m}^3/\text{ha}$  ou em mm de altura de chuva.
- Vazão contínua necessária dado em  $\text{l/s/ha}$

Neste trabalho será utilizado o primeiro caso.

No caso da determinação da quantidade de água em cada período, mensal, por exemplo, a porção necessária a ser complementada por irrigação poderá ser definida por:

$$I_c = E T_c - (P_e + G_e + W_b) \quad (3.28)$$

Onde:

$I_c$  - Água necessária a ser complementada por irrigação;

$E T_c$  - evapotranspiração real do cultivo;  $P_e$  a precipitação efetiva;  $G_e$  a contribuição de água das camadas subterrâneas fornecidas por capilaridade;  $W_b$  água armazenada no solo disponível aos cultivos.

As parcelas  $P_e$ ,  $G_e$ ,  $W_b$  normalmente denominadas de ganho e  $E T_c$  de perdas são computados em um mesmo período de tempo sendo expresso em mm de altura, onde a última, evapotranspiração real do cultivo poderá ser determinado pelos métodos bastante difundidos registrados na literatura.

A precipitação efetiva corresponde a precipitação que atinge o solo e que poderá ser disponível aos cultivos, já relevadas as perdas, é dado também em mm.

O somatório dos  $I_c$ , para os diferentes cultivos, sobre as áreas do projeto constitui o elemento básico para a determinação das demandas expressas normalmente em ( $m^3/ha/mes$ ), para a identificação das potencialidades em área para os recursos disponíveis.

Neste trabalho, não serão consideradas as contribuições provenientes do lençol subterrâneo ( $G_e$ ), pela significativa pobreza que constitui estas reservas na região onde foi aplicado a metodologia, como também a água armazenada no solo ( $W_b$ ) no final de cada período, pelo fato dos balanços hídricos serem realizados mensalmente.

No cálculo dos suprimentos, em alguns casos, uma parcela deve ser adicionada (LR) como requerimento de lixiviação, que é a porção de água de irrigação aplicada, para remover os sais minerais nas proximidades das raízes, acumuladas com o tempo, portanto, independentemente das perdas na condu-

ção e aplicação. A água fornecida a cada cultivo, deverá ser superior as suas reais necessidades.

#### b) Demandas de Projeto

Uma outra parcela bastante representativa no estabelecimento das demandas, é a relativa, as perdas de água ocorridas durante o transporte, a distribuição, e a aplicação, nas unidades de um sistema de irrigação. Um fator de eficiência pode ser incluído, quando se deseja discretizá-las nos projetos de irrigação e pode ser feito utilizando o esquema de distribuição e, o tipo de canais ou usando coeficientes globais, recomendado pelo FAO (1977), por exemplo, na carência detalhada do esquema de distribuição.

A eficiência do sistema a satisfazer as necessidades dos cultivos em quantidade e no tempo, poderá ser determinada pelas perdas por percolação nos canais, e sulcos em que são operados, como também, da infiltração e dos excessos perdidos por escoamentos nas aplicações, do custo e qualidade dos trabalhos, facilidade de manipulação da água e cultivos. É normalmente computado através de coeficientes referidos por três parcelas consideradas de maior significação :

- 1 - Em primeiro lugar temos a eficiência de condução  $E_c$ , como a relação existente entre a água recebida pelo distrito de irrigação e a liberada pela fonte de suprimento de água do referido distrito. As perdas na condução sendo as ocorridas



desde a liberação de água da fonte até a entrada do distrito de irrigação, são pequenas quando são realizadas em canais revestidos, ou mesmo de concreto.

Os valores de  $E_c$  podem variar entre 65% e 90%

22--A eficiência de distribuição de canal expresso como a relação entre a água recebida por uma unidade de área cultivada e a água disponível para o mesmo na sistema de distribuição é representada por  $E_d$ . Os fatores de maior importância que influenciam nesta eficiência são, o tipo de solo com respeito a percolação, comprimento dos canais de distribuição, dimensões do conjunto e chega a variar normalmente na faixa de 70% a 90%.

3 - Finalmente, temos a eficiência de aplicação  $E_a$ , como a relação existente entre a água diretamente aplicada ao cultivo e a captada pelo mesmo. As perdas computadas nesta parcela, são as relativas ao escoamento quando a taxa de aplicação excede a infiltração e a drenagem para camadas profundas, quando a capacidade de campo é atingida e ao método de aplicação. Seus valores são mais baixos, comportando-se na faixa de 30% a 70%.

Deve ser levado em consideração que, os coeficientes acima sofrem uma influência bastante significativa com as técnicas e controle administrativo de desenvolvimento do pro-

jeto. A eficiência do projeto  $E_p$  é aquela representada pela consideração de todas as perdas e pode ser expressa pelo produto das três eficiências conforme vemos:

$$E_p = E_c \cdot E_b \cdot E_a \quad (3.29)$$

Para um dado período, anual, por exemplo, o suprimento de irrigação para um sistema pode ser determinado pelo somatório dos volumes de água  $V_i$  do período (quinzenal, mensal), necessário a cada cultivo  $C_j$ .

Seja:

$$V_i = \frac{10}{E_p} \sum_{j=1}^N \left( \frac{A_j - I_{c_j}}{1 - LR_j} \right) \quad (3.30)$$

e

$$V_a = \sum_{i=1}^M V_i \quad (3.31)$$

onde,  $V_i$  é o volume de água a ser fornecido no período  $i$  em  $m^3$ /período para a irrigação considerando todos cultivos;  $E_p$  eficiência do projeto;  $A_j$  a área destinada a cada cultivo  $C_j$ , dado em ha;  $I_{c_j}$  água necessária a ser complementada por irrigação para cada cultivo  $C_j$ , no referido período, expresso em mm/período;  $LR_j$  requerimento de lixiviação, para o cultivo  $C_j$ , dado em forma de fração;  $V_a$  volume a ser fornecido a nualmente;  $j$  indicação do cultivo;  $i$  indicação do período.

Em suma, pode-se indicar que as demandas consideradas na operação do sistema de irrigação são as demandas de pro jeto, que por sua vez, irão satisfazer os consumos reais dos

cultivos.

Para definir-se os elementos necessários a operação do sistema de distribuição, um detalhado estudo deverá ser realizado a partir das disponibilidades hídricas ao suprimento das menores unidades de irrigação, subsequentemente, aos conjuntos de unidades, áreas de influência dos canais distribuidores, e o projeto das áreas servidas pelos canais principais. Neste estão incluídos ainda a especificação das dimensões e formas das áreas, controle das vazões e posicionamento dos canais, e mais a intensidade de cultivo.

O suprimento das unidades será determinado, pela altura de água (mm/período), identificado através do balanço de água do solo, para a faixa de variação entre a capacidade de campo ao ponto de murchamento ou nível de umidade no momento da aplicação; da fração de água do solo que permite a evaporação e o desenvolvimento do cultivo; e da profundidade de aplicação da água como função da profundidade da raiz.

A frequência de irrigação sendo um elemento variável para cada cultivo, deverá ser levada em conta para evitar os danos permanentes e irremediáveis causados aos cultivos pelo deficit de água. Pode ser expressa em intervalo de irrigação, portanto entre as diversas maneiras de estimá-la, apresentamos uma expressão proposta pela FAO (1977):

$$i = \frac{P \cdot S_a}{E \cdot T_c} \quad D \quad (3.32)$$

Onde  $P$  é a fração de água disponível do solo pa-

ra satisfazer a evapotranspiração, dependendo do cultivo e da demanda evaporativa;  $S_a$  total de água disponível no solo (mm/m) por unidade de profundidade conforme pode-se verificar no trabalho da FAO (1977);  $D$  profundidade da raiz dada em m;  $E T_c$  evapotranspiração do cultivo em mm/período.

Desta maneira pode perceber-se que o intervalo de irrigação para cada cultivo poderá sofrer variações pela relação existente com os elementos climatológicos que influem sobre a  $ET_c$ , e a profundidade da raiz que se altera com o desenvolvimento do cultivo. Neste trabalho, não se determinou estas frequências, portanto, havendo uma preocupação somente no estabelecimento das quantidades exigidas mensalmente como poderia ser estipulado também outro intervalo de tempo, quinzenal. Por exemplo. Paralelamente ao preparo detalhado das unidades do sistema e dos canais para o caso de sistema por gravidade, três formas de operação dos suprimentos podem ser delineadas contínuo, rotacional e demandas.

- No suprimento contínuo, o sistema está constantemente em operação, a descarga no canal é ajustada as exigências de irrigação diária, e proporcionalmente dividida a área a suprir, e, normalmente desenvolvido para sistemas com área superior a 50 ha.
- O suprimento rotacional, tem capacidade de operação do sistema de distribuição baseada em suprimento fixado para cada conjunto de unidades (região), portanto, a duração do suprimento  $S$  e intervalo  $\Delta t$  é variado de acordo com as dimensões

do conjunto de unidades e época de desenvolvimento dos cultivos.

- Finalmente, no esquema de distribuição por demanda, permite-se a utilização da água de acôrdo com o desejado, a capacidade do sistema de suprimento (canal ou tubulação), com demanda livre é dimensionada na probabilidade de um número de unidades ser abastecido simultâneamente durante o fornecimento máximo de água no período, portanto, este sistema torna-se mais difícil de ser operado utilizando canais abertos.

A vantagem de um método sobre o outro não é determinada pelas diferenças nos volumes de água a atender as necessidades e sim, pela adequabilidade e eficiência com que as demandas dos cultivos são satisfeitas, como também dos custos e da maior ou menor disponibilidade dos recursos hídricos.

Obviamente, que métodos diferentes exigem distintas taxas de aplicação de água, e uma análise apurada deve ser levada em consideração pelos fatores envolvidos e citados acima, para que a escolha venha unicamente satisfazer as reais necessidades do projeto sob as limitações também de outros recursos. Neste trabalho, será utilizado a distribuição por demandas considerando a prioridade de certos cultivos sobre outros a satisfazer uma política de implantação do sistema.

O estudo das necessidades de água dos cultivos e satisfação pelas técnicas de irrigação, torna-se mais apurado quando se considera ocorrência de casos extremos de evapotrans

piração e precipitação mensal, nesta situação os dois eventos relacionados de formas inversas, induzem ao cultivo uma solicitação do sistema em maior soma de água para seu desenvolvimento, isto verificando-se normalmente nos períodos de grandes estiagens. Uma forma de considerar-se estes efeitos pode ser realizada através de geração de séries multivariadas (evapotranspiração e precipitação mensal), e analisando as situações mais desfavoráveis sob riscos estabelecidos.

### 3.6 - Os Modelos Matemáticos de Simulação de Sistemas de Irrigação.

Os modelos matemáticos em recursos hídricos, são muito recentes e sua difusão veio acelerar-se nos últimos anos, quando da necessidade de obter soluções para os diversos problemas surgidos na prática, sem a utilização das complexas formulações teóricas. Os modelos matemáticos, quando habilmente manipulados, e seus parâmetros ajustados convenientemente adicionam informações importantes.

No setor agrícola com a utilização de novas técnicas sobre uma eficiente exploração dos solos, dos cultivos, e dos recursos hídricos tornaram esta atividade mais produtiva nos aspectos qualitativo e quantitativo. Assim a combinação destes elementos pode se analisar melhor com um modelo de simulação.

#### 3.6.1 - O Modelo de Simulação Empregado

O modelo de computação digital desenvolvido por

Anderson e Maass (1971) e a ser empregado neste trabalho tem como objetivo simular a alocação dos recursos hídricos nas áreas de cultivos, de forma mais eficiente em um sistema de irrigação, sujeito inclusive a limitações de água. Permite, verificar os efeitos de variação deste suprimento sobre a produção dos cultivos e dos benefícios, as unidades irrigadas do sistema. Porém, nas áreas irrigadas em que ocorre deficit de água devido as longas estiagens, ou dificultadas na distribuição da água, este fornecerá elementos aos planejadores, para determinar quais os cultivos e unidades devem ser irrigados sob estas limitações.

Um aproveitamento hidro-agrícola não é projetado com 100% de garantia de suprimento. É de se esperar então que, agricultores defrontem-se com problemas de suprimento de água em algum momento, quando este não for o suficiente para atender as necessidades dos cultivos.

Decisões sobre os cultivos que serão prioritários, caso, as disponibilidades de água sejam deficientes, nos diversos períodos de desenvolvimento do projeto, e as produtividades que se poderiam obter, podem ser analisadas no modelo. Assim, os agricultores e operadores do sistema de irrigação podem ser melhor orientados, pela identificação das consequências e das limitações e variações do suprimento de água a que estão submetidas todas unidades.

O modelo não analisa as características de projeto do sistema. Deve-se indicar que se considera o modelo mais apropriado para o caso de áreas de irrigação com simples deriva

ção, e o caso de áreas de irrigação com regularização anual. Já para o caso de regularização plurianual, considerações adicionais precisam ser feitas.

Este simula decisões para diversos planos de desenvolvimento do sistema, obtendo-se as respostas em termos de produtividade e lucros. As atividades de decisões são desenvolvidas em uma sequência, onde as mais importantes na função de planejamento para o distrito, são apresentadas a seguir:

- a) Determinação das áreas ideais de cultivos dentro de limites especificados através de um processo de otimização dos benefícios, levando em conta o suprimento de água disponível, realizado pela subrotina Plan.
- b) Reordenação das áreas ideais dos cultivos, se o suprimento torna-se insuficiente em determinado período, irrigando-as conseqüentemente através da Subrotina Replan.

A utilização sucessiva do modelo de simulação requer uma série de informações sobre a situação física do distrito irrigado, além das variações a que estão submetidas as fontes de suprimento. No final, apresenta-se uma síntese destas variantes sobre o distrito, no que concerne a distribuição de água.

As informações sobre a forma de distribuição de água e a maneira com que cada irrigante captará o suprimento são necessários, no tocante a operação da fonte de suprimento que



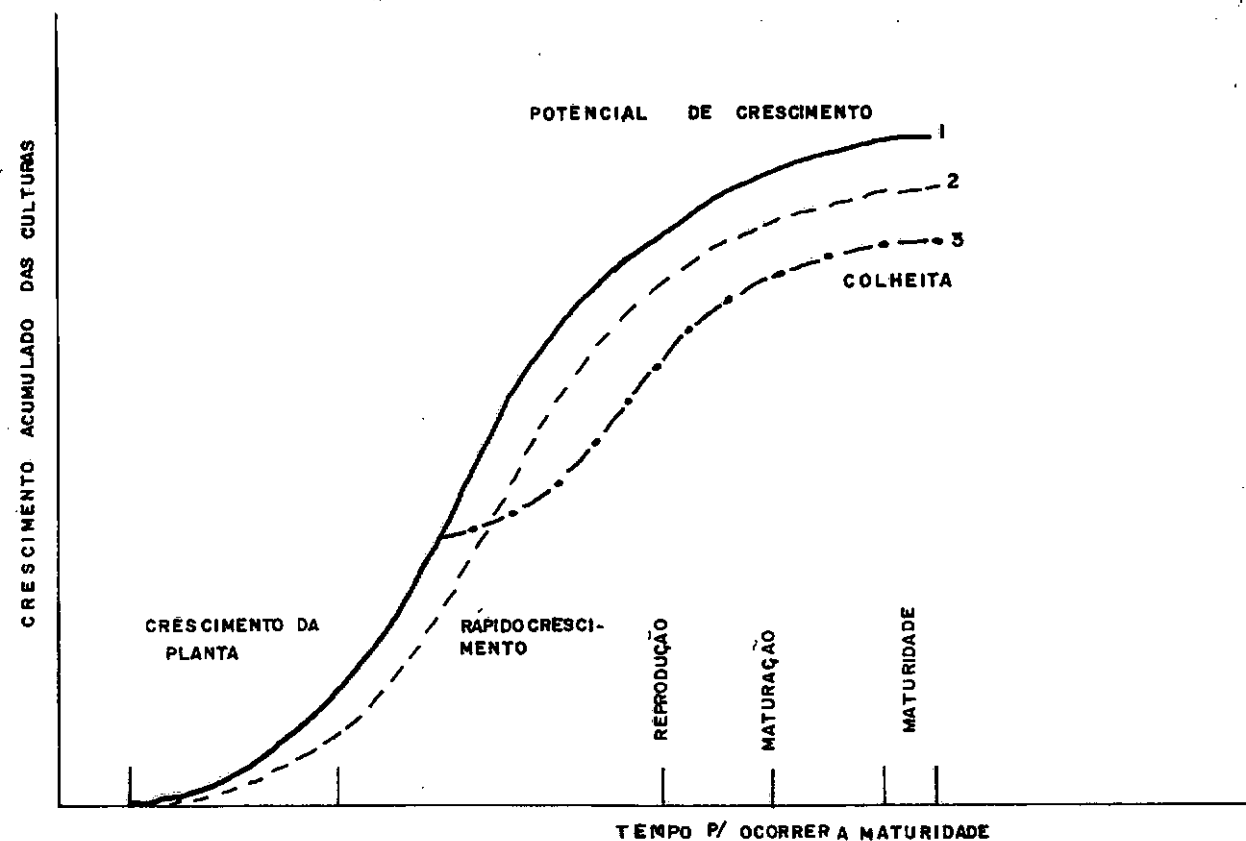
no caso deste trabalho é representado por um reservatório. Na formulação do modelo tem-se duas funções básicas no estabelecimento das decisões, sejam:

- função produção, e
- função benefício.

### 3.6.2 - A Função Produção

Na formulação do modelo, a evapotranspiração constitui-se um elemento básico de encontro a mais eficiente alocação de água para os cultivos. Seus valores podem ser estimados de acordo, com o apresentado na seção (3.5). Além disso, baseia-se também, nas respostas da produção para as variações da umidade do solo, e das condições do ciclo de crescimento dos cultivos, nos diversos estágios.

Na Figura 3.4, se apresenta um esboço esquemático das curvas de potencial de crescimento de um cultivo genérico, durante um ciclo de irrigação. Na mesma figura, a curva (1) mostra o potencial de crescimento e produção, quando a umidade do solo se encontra na faixa satisfatória a todas as etapas de desenvolvimento vegetal, e as curvas (2) e (3) mostram o efeito da redução crítica da umidade do solo no crescimento do cultivo para casos particulares de desenvolvimento. Quando não houver adequada umidade do solo, o potencial é reduzido de acordo com as curvas (2) e (3), ficando comprovado o relacionamento direto entre o potencial de crescimento e produção e suas sensibilidades com respeito a umidade do solo.



**FIG.3.4 - CURVA TEÓRICA DE CRESCIMENTO ANUAL DE UM CULTIVO**

[Fonte: ANDERSON E MAASS (1971).]

O tempo e a escala de crescimento na relação idealizada na mesma figura, podem variar empiricamente pelo conhecimento do ciclo de crescimento e produção, para cada cultivo específico. No exame dos efeitos de variação da evapotranspiração e queda de produção, com a umidade do solo o modelo requer o conhecimento dos seguintes elementos:

- Tempo e quantidade de água necessária a satisfazer a umidade adequada do solo, para cada cultivo, nas diversas fases de desenvolvimento do mesmo.
- A redução da produção do mesmo, sempre que não houver suprimento, resultando em falhas e adiamento da irrigação.

Estes tipos de curvas são desenvolvidas a partir de estudos de uso consuntivo da água e do nível de eficiência de irrigação que são fatores importantes no delinear da função produção, porém são muito demorados e custosos. Numa primeira aproximação podem ser empregados estimativas, baseadas em experiências em condições similares.

### 3.6.3 - A Função Benefício

Os benefícios provenientes da irrigação, são mais relevantes quando as decisões empreendidas são flexíveis, e colocadas a disposição dos agricultores com uma certa fundamentação técnica e bom senso. Esta flexibilidade é obtida no modelo através de planos de decisões, realizados no início do ciclo de irrigação e durante cada período do mesmo.

No início da estação, o modelo toma decisões para as áreas usando estimadores de suprimento de água, seleciona os cultivos prioritários, haja visto, o maior benefício esperado. De posse dos cultivos prioritários e da regra de distribuição usada no distrito, o programa simula plano de decisões durante os períodos pela alocação para os cultivos individuais da água que é disponível atualmente em cada período, maximizando os subsequentes benefícios.

A simulação, consiste em promover estas decisões para os setores individuais, com os diversos cultivos, e as áreas em disponibilidade.

Durante o desenvolvimento dos períodos o estimador de suprimento de água usado para as diversas áreas no res

tante do ciclo, poderá variar significativamente do estimador utilizado, no plano do cultivo de início.

Consequentemente, deve-se utilizar um novo plano nas áreas a serem cultivadas no distrito, abandonando certos cultivos e setores e replanejando-o de forma a obter-se ao final, os melhores benefícios econômicos. O modelo realiza portanto esta estruturação.

As decisões tomadas particularmente em cada área, baseia-se no critério usual dos benefícios econômicos do uso da água a todo o sistema, com isto, a preocupação individual não é considerada, pois o plano de tomada de decisões de eficiência econômica é levado em consideração, em termos do rendimento ao distrito como um todo, e não para os irrigantes e unidades individualizadas.

A função benefício de eficiência econômica usada, tem configuração especial, relacionada as características da função produção para agricultura irrigada, e para as exigências do programa de simulação. Isto é representado em três partes conforme se mostra na Figura 3.5

1 - Curva A - Benefício resultante de um suprimento esperado para o ciclo:

São os benefícios obtidos, quando o suprimento esperado ocorre e torna-se disponível, em termos das áreas de cultivos fixadas e das operações realizadas. A curva mostra ainda a relação existente entre o suprimento de água de irrigação, e seus benefícios. Para um suprimento de água  $X_i$  pre-

visto, se espera ter um benefício  $Y_i$ . Para estas condições, pode acontecer desvios em relação a previsão para mais ou para menos. Nestes casos, surgem as curvas  $B_1$  e  $B_2$ .

- 2 - Curva  $B_2$  - Benefício resultante de um suprimento em excesso ao esperado:

Conforme mostra a Figura 3.5. A taxa de lucro para estes benefícios (inclinação da curva  $B_2$ ), é menor que a taxa de lucro da função benefício resultante de um suprimento esperado menor (inclinação da curva A). O suprimento de água disponível durante um período, sendo maior do que as necessidades reais dos cultivos previsto, acarretará perda de valor comparadamente a um incremento estudado nos planos de utilização desta água.

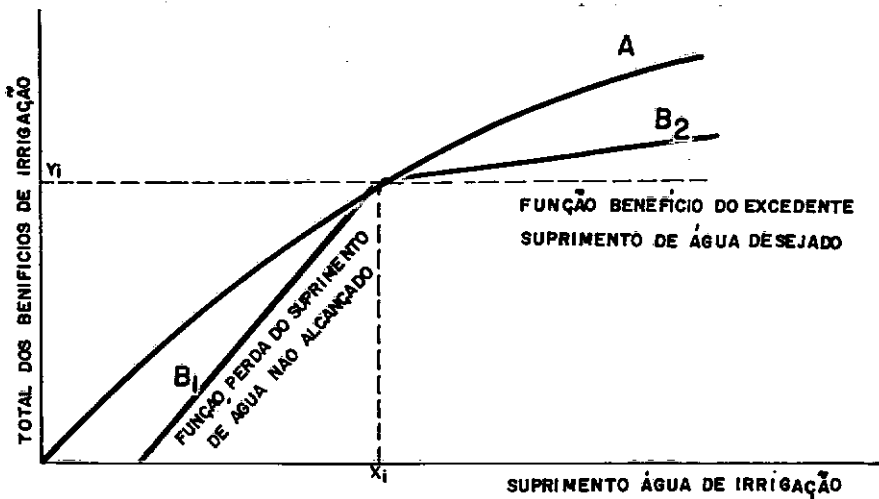
- 3 - Curva  $B_1$  - Perdas por falhas no suprimento esperado:

Ainda na mesma figura, vemos que a taxa de perdas (inclinação da curva  $B_1$ ), é maior que a taxa da função benefício, resultante de um suprimento esperado maior (inclinação da curva A), devido a falta de suprimento ocorrida durante o ciclo, causando perdas para os cultivos, que tenham sido desenvolvidos. Torna-se mais dispendioso do que a redução planejada nos benefícios para o início do ciclo.

O estimador de redução da produção pode ser associado a função perda em referência conforme indicado an-

teriormente. Diversas simplificações têm sido feitas no uso da redução da produção e função perda associada com a água armazenada.

- 1 - Cada unidade mais simples do sistema, no caso da exploração, deverá ser ou não totalmente irrigado, assim não haverá o efeito intermediário como se poderia idealizar, já que, seria bastante complexo a introdução de um parâmetro, que regulasse esta situação de parcialidade de satisfação as demandas. Esta suposição é feita por não se ter conhecimento apurado das respostas da aplicação em cada cultivo, somente de uma parte da água necessária naquela fase. De acordo com a concepção do modelo na última exploração, ~~estou~~ nao mais distante, poderá ser utilizado até 20% a menos da água exigida a sua satisfação considerando a irrigação satisfatória.
- 2 - Uma exploração é totalmente eliminada do sistema se duas sucessivas falhas no suprimento ocorrem.
- 3 - A qualidade dos cultivos que chegaram a sofrer os problemas de deficit de água considera-se invariáveis, devido as insuficientes dados de variação de suas qualidades em resposta ao suprimento hídrico. O modelo, emprega um único valor por unidade de cultivo desenvolvido ou disponível ao mercado, representando assim uma única qualidade.



**FIG.3.5-A FUNÇÃO TEÓRICA DE BENEFÍCIO E SUPRIMENTO DE ÁGUA**

[ Fonte: ANDERSON E MAASS (1971) ]

A produção para cada cultivo é especificada com o valor por unidade de área, e seus respectivos custos, e rendimentos líquidos.

Os custos posteriormente explícitos, serão divididos no modelo em duas categorias:

- Custos antes da colheita, e
- Custos pós-colheita

Aqueles relativos aos custos fixos, insumos, juros, taxas, trabalhos mecânicos, mão de obra, desenvolvidos desde a semeadura até a maturação, são considerados neste trabalho como custos antes da colheita. Os custos pós-colheita são separados daqueles que não são cobrados taxas e impostos quando existe área não cultivada, por ter havido falhas no abastecimento. Neles, estão implícitos o custo de colheita, transporte e comercialização.

Vale ainda salientar, que os custos relacionados com a água, elemento base considerado na simulação constitui

somente aqueles relacionados com a água consumida por cada cultivo e setor em cada período, caso seja pago por unidade de volume utilizado, como se empregou neste trabalho.

### 3.6.4 Modalidades de Distribuição de Água em Sistemas de Irrigação

#### A) Sistemas de Porcentagem Fixada:

Nesta classe, estão incluídas todas as regras que consideram o suprimento hídrico do sistema de irrigação, variável de período a período, e em que cada agricultor recebe neste espaço de tempo uma porcentagem fixada de água que é disponível ao período. Esta porcentagem para cada agricultor, é dependente da superfície física de sua propriedade, do investimento que realmente realizou e até, de fatores topográficos, e é liberada através de cota ou porção, ou mesmo no tempo, constituindo a regra de rotação, conforme descrito a seguir.

a) Cota ou porção - Este procedimento leva a determinação do porcentual para cada agricultor, pela cota admitida no sistema, atribuída pelo organismo central deste, ou através de outros meios legais. Duas classes de cotas são usadas neste modelo:

- No primeiro caso todo o excedente de um setor para um determinado período de irrigação é totalmente desperdiçado.
- Já no segundo caso ocorre o inverso ou seja é feita disponível para o setor a jusante na ordem estabelecida pelo sistema, adicionando assim a cota



fixada para esta próxima.

- b) Rotação - Neste caso, a porcentagem utilizada por cada setor deverá ser obtida, a partir da fixação de um tempo em que as disponibilidades hídricas estarão a seu dispor.

O tempo necessário a cada setor, estará na dependência das proporções destas e também de fatores já ressaltados.

Caso o agricultor não capte a água necessária no tempo que lhe foi reservado, esta passará a ser disponível aos irrigantes subsequentes. Quando não exista armazenamento ou este seja muito pequeno, poderá ocorrer variações diárias ou horárias no abastecimento, tal que agricultores que dispunham de um determinado número de horas de abertura de comportas durante determinado período, poderão receber quantidade de água maior ou menor que agricultores com as mesmas dimensões de comporta de alimentação que captam água na mesma duração de tempo, mas em outros períodos. O modelo neste caso, faz simplificações que não ocorrem na realidade, como em deixar variar o suprimento de água somente de um período de irrigação para o próximo.

A rotação portanto, assemelha-se ao tipo de cota em que a água não utilizada por uma área é disponível as outras.

#### B) Sistemas Prioritários:

Uma segunda classe de regras de distribuição de á-

gua para irrigação, é formada pelos procedimentos em que se considera ainda a variação do suprimento hídrico disponível, de um período ao próximo, com as parcelas destinadas a cada região em cada período, fixadas através de prioridades.

Estas prioridades, são estabelecidas, por ocasião da instituição de uma política para a gerência, somados a interesses outros como os de maximizar os lucros ou benefícios econômicos e podem ser estabelecidos a partir dos critérios de localização, tempo ou cultivo. Podem ser:

- a) Turno - Ao adotar-se este método, ficará perfeitamente claro que os setores deverão ser alimentados de acordo com a sua disposição ao longo do canal principal. Então um agricultor somente receberá sua parcela do período após o anterior haver captado tudo que realmente necessita.
- b) Áreas Prioritárias - Este faz com que os setores sejam abastecidos de acordo com prioridades estabelecidas em função do tempo, ou mesmo outros fatores específicos.

Assim, a água destinada a um setor somente poderá ser liberada após o anterior ter sido abastecido. É semelhante ao turno, a diferença básica reside nesta prioridade não se estabelecer por ordem de localização e sim, a partir de outros critérios, e também no fato da distribuição de água em cada período dar início, a partir do primeiro setor prioritário.

- c) Cultivos Prioritários - São distribuídos ordem e prioridades aos cultivos, unicamente baseados em critérios econômicos, mas em determinados casos podem prevalecer outras considerações. Os cultivos de primeira ordem serão supridos inicialmente, em seguida, o imediatamente inferior e assim sucessivamente.

Quando a água não se faz suficiente para todas as áreas de um mesmo cultivo, pode-se utilizar técnicas adicionais de rotação, baseadas em ordem de localização das áreas, ao longo do canal. Como consequência, na época de escassez um agricultor irrigará primeiramente os cultivos de mais alto valor econômico, e se este tem arbítrio sobre a operação do sistema de irrigação, a comercialização de sua água entre os demais setores poderá ser feita e ser mais rentável, do que aplicá-la em cultivos de baixo valor.

- d) Sistemas de Demandas - Nesta classe de procedimento o suprimento hídrico disponível ao sistema para todo o ciclo de irrigação é armazenado, e colocado a disposição no início deste ciclo e a cada agricultor é alocado uma quantidade fixa para este, em cada período. O agricultor recebe em cada período de irrigação, a quantidade de água fixada na distribuição a seu setor.

A gerência do distrito de irrigação é o órgão controlador das quantidades para cada área, durante o ciclo, tomando-se como base para o fornecimento as

dimensões das áreas, sua cota no sistema ou por intermédio de outros critérios.

e) Combinações de Regras de Distribuições de Água de Irrigação

Em geral emprega-se combinações dos sistemas descritos. Estas combinações podem ser de três formas:

- 1 - Alguns podem ficar sujeitos ou exercer primazia sobre outros. Poderemos citar o caso em que um setor deve usar esta cota sobre cultivos prioritários somente, fazendo retornar ao sistema a água em excesso;
- 2 - Outros, baseiam-se na utilização pelo agricultor simultaneamente ou alternadamente de várias fontes, governadas por diferentes regras. O uso de uma e outra far-se-á em função das disponibilidades e custos da matéria prima água.
- 3 - Finalmente, tem-se a forma em que se considera a mudança do procedimento durante o próprio ciclo pelo incremento das disponibilidades hídricas, o que ocorre no caso de secas.

Fica assim comprovada a grande flexibilidade que tem o modelo no manejo destas regras e suas combinações, para obter ao final os melhores procedimentos de distribuição de água, de um sistema de irrigação.

O sistema utilizado neste trabalho, é o de demandas sujeito a cultivos prioritários quando ocorre se-

quências em que o suprimento não é satisfatório a todas áreas cultivadas. Neste, a água é distribuída em todo o desenvolver do projeto, de acordo com o sistema demanda, mas quando ocorre período de escassez, os irrigantes usam água somente nos cultivos prioritários estabelecidos no planejamento.

### 3.6.5 O Processo de Simulação do Modelo

A simulação é realizada interrelacionando as variáveis e parâmetros do sistema, de acordo com a formulação planejada e em seguida de posse dos resultados, a elaboração da análise dos mesmos onde se poderá fazer as modificações que se fizerem necessárias. O modelo, tem como base três sub-rotinas responsáveis pelas decisões para os diversos níveis de atividade de operação.

A descrição do programa de computação digital do modelo se encontra descrito no trabalho de Anderson e Maass (1971) e as sub-rotinas principais são descritas sucintamente nesta seção.

A operação é feita período a período, e ao final de cada um deles é feito um resumo dos resultados tais como, produção, consumo de água, custos, lucros para todos os setores e para cada cultivo.

As informações de entrada incluem o número de setores do sistema, os cultivos, o número de explorações em que cada cultivo será dividida, número de períodos por ciclo de irrigação, uso consuntivo de água para os cultivos em cada fase de desenvolvimento do projeto porcentagem da produção e

dos rendimentos associados a falhas na distribuição de água , produção normal de cada cultivo por unidade de área, área inicial para cada cultivo, cotas especificadas para cada setor sobre o suprimento hídrico disponível em cada período, suprimento total para o ciclo e as possíveis prioridades quer de alguns cultivos ou de alguns setores.

As disponibilidades hídricas estimadas para a realização da simulação do sistema para cada ciclo de irrigação, em nosso caso de 12 meses, corresponderá ao volume de água determinado pela descarga de regularização plurianual neste espaço de tempo, mais o volume de precipitação e menos o volume evaporado no espelho d'água do reservatório correspondente a 80% do volume máximo do mesmo.

Na simulação do sistema será computado as eficiências descritas na seção 3.5 fazendo-se jús as perdas ocorridas desde a liberação de água nas comportas do reservatório, até sua aplicação as unidades mais simples.

As sub-rotinas Plan e Replan quando utilizadas no processo, exige o fornecimento dos limites inferiores e superiores para cada cultivo, para que através de um processo iterativo seja definido as porções que irão maximizar os benefícios . Ainda por ocasião de seus usos, deve-se especificar a área e o retorno incremental dos benefícios a serem usados no planejamento.

Com o objetivo de se determinar a quantidade de água a satisfazer as explorações, setores, e o distrito de irrigação a cada passo de desenvolvimento do plano de cultivo, promovendo estas quantidades, condições ideais de umidade, foi adi-

cionado ao programa a sub-rotina Calnec, que resume para o distrito, para cada setor e cultivo os consumos de água registrados. Além destas condições, ideais de unidade, é considerado também que cada setor será cultivado do início ao fim do ciclo com a mesma área inicial.

Se no andamento da operação deseja-se tomar conhecimento da disponibilidade de água para cada setor em cada período de tempo, com a identificação das perdas em cruzeiros sofridas por cada cultivo se não irrigado durante aquele período, o programa possibilita uma saída que irá registrar todos estes elementos.

Subrotina Distr 1 - Após estabelecido os cultivos com suas respectivas áreas para cada setor, como dados de entrada, ou otimizadas pelo uso da subrotina Plan, parte-se para a determinação do suprimento de água disponível ao sistema para o primeiro período de irrigação, através da subrotina Distr 1.

O suprimento é alocado no período para os setores do sistema em concordância com a regra de distribuição fixada.

Uma vez identificada o suprimento para o primeiro setor, o controle é dirigido para a subrotina Distr 2 onde é processado a distribuição de água. Isto é feito sucessivamente para cada setor.

Após distribuir-se as disponibilidades hídricas para todos os setores no período, Distr 1 é novamente solicitado para procedimento do próximo, repetindo a mesma operação até o final do ciclo.

Subrotina Distr 2 - A partir da determinação do su  
primento de água para um setor do distrito a subrotina Distr  
2 faz a aplicação de água de irrigação para o desenvolvimento  
dos cultivos. A utilização da água é feita a partir dos crité  
rios a seguir:

- Cultivos prioritários
- Aplicação aos setores que terão maiores prejuízos  
em valor se não irrigados.

Para o caso dos cultivos prioritários, primeiro se  
rão irrigados aqueles considerados de maior valor. Sequencial  
mente é chamado a subrotina Evalue, que será descrito mais adi  
ante que classifica os cultivos de mais alto para o de mais bai  
xa prioridade. Seguindo-se estas, os cultivos prioritários são  
classificados de acordo com a ordem baseada nas perdas em cada  
produção de cada cultivo se não irrigados no período.

Com os cultivos arranjados de acordo com as priori  
dades e/ou potencial de valores de perda de produção, Distr a  
aloca a água para os cultivos prioritários e/ou os de mais al-  
ta perda de produção, até o suprimento ser totalmente utilizado  
ou todos cultivos satisfeitos. A área disponível a cada culti-  
vo em cada setor é dividida igualmente em porções menores cons  
tituindo a unidade mais simples, a exploração.

Quando o suprimento de água é insuficiente para uma  
exploração o programa verifica se a água remanescente encontra  
se no máximo 20% a menos da quantidade necessária. Se isto o-  
corre a exploração é irrigado sob a consideração que um irri-  
gante poderá cultivá-lo adequadamente pelo uso de um trato es-  
pecial.



O suprimento que é insuficiente para a produção de um cultivo de alto valor, será utilizado para um cultivo de baixo valor, se esta quantidade for suficiente para esta última. Em certos casos quando uma quantidade é pequena para irrigar um cultivo, esta será destinada ao próximo, sob certos tipos de distribuição.

Distr 2 processa a utilização da água aos setores do sistema para um período de tempo, de acordo com o tipo de distribuição de água, para os cultivos e das prioridades ou valores e dos registros dos cultivos irrigados e não irrigados. Após o suprimento de água ter sido alocado para todos os setores durante um período, o controle retorna para Distr 1 repetindo-se o processo para o outro período de irrigação.

O suprimento de água para o próximo período poderá ser ou não adicionado, de acordo com o tipo de distribuição, e operado aos setores como antes, passando o controle para Distr 2 que novamente chama Evalve.

Este processo é seguido para cada período de tempo durante o ciclo de irrigação.

A subrotina Evalve tem a finalidade de dispor os cultivos sobre os setores, de acordo com os mais altos rendimentos obtidos com a água. Esta é utilizada como parte das subrotinas Plan e Distr 2. Sua utilização é maior como parte de Distr 2, pois computa as perdas dos valores de todos os cultivos na alocação do suprimento de água disponível durante cada período.

Evalve usa as necessidades de água dos cultivos e

a perda que será submetido se o cultivo não é irrigado para determinar que cultivos darão os maiores benefícios para a água disponível durante cada período.

Quando ocorre falha no suprimento, as demandas em um determinado período, o modelo adiciona parcialmente ou totalmente esta quantidade no período posterior, caso haja suprimento e ocorra ou não necessidade de água para os cultivos. As informações de saída desta subrotina consiste dos prejuízos, caso os setores não sejam irrigados, em cada período de irrigação.

Subrotina Plan - For a designada para realizar a escolha das áreas de cultivos de cada setor que darão maiores lucros, dado o suprimento de água disponível ao ciclo. Isto é conseguido através do teste de verificação, se os lucros de um setor forem acrescidos se a cada cultivo for incrementado ou reduzido de certa fração. A este processo denominamos de otimização das áreas sob o critério benefício.

Se Plan é executado, a área e o rendimento líquido incremental fixados, são usados para computar em cada setor a área pela qual cada cultivo será adicionado e a fração pela qual o retorno líquido deve-se incrementar.

Os cultivos são colocados, primeiramente em seus limites inferiores em cada setor e arranjados do maior para o de menor valor. O programa incrementa a área do cultivo de maior valor em cada setor pela fração especificada e determina o rendimento líquido obtido.

Quando o incremento no rendimento líquido para o setor é significativo, a área do cultivo de mais alto valor na setor é incrementado repetitivamente, até que o incremento não seja mais significativo em termos de benefícios, ou mesmo, o limite de área tolerável para o cultivo ser satisfeito.

Se em determinado tempo, o incremento na área não for significativo aos benefícios, a área é reduzida para onde fora o último incremento.

Este processo de incrementar a área em seguida com parar as variações no benefício líquido, continua até ocorrer um dos dois casos já citados, seja: exceder o limite de área especificado, ou os benefícios tornarem-se incompatíveis com a fração fixada.

A subrotina Plan em seguida retorna o controle ao programa principal, quando serão impressos os resultados obtidos com as áreas de cultivos otimizadas.

Subrotina Replan - Tem como finalidade realizar um replanejamento quanto ao melhor uso da água, quando limitada, uma vez ocorrendo perdas totais de várias explorações em certos períodos de irrigação. Usa-se a subrotina Replan, sempre que uma falha ocorre sobre algum salgueiro exploração, ou mesmo uma segunda falha já tendo sido definida como equivalente a uma perda total da mesma.

O limite, superior de todos os cultivos são redefinidos pelas novas áreas produtivas. Consecutivamente, Replan procede usando a subrotina Plan para determinar a área dos cultivos que proporcionarão o máximo lucro para o setor dado o suprimento estimado disponível ao restante do ciclo.

Um fluxograma executivo de forma simples é apresentado na Figura 3.6 e com maiores detalhes pode ser encontrado no trabalho de Anderson e Maass (1971).

### 3.7 Simulação da Operação Mensal de Reservatório de Regularização em Sistemas de Irrigação

Dentro dos estudos gerais de aplicação de deflúvios regularizados, para satisfação a demandas de irrigação, diversos problemas pode-se identificar. Neste trabalho, considera-se a alocação de uma quantidade finita de água armazenada no decorrer do tempo, em um reservatório com volume útil conhecido de regularização plurianual, sobre uma área cultivada.

A utilização adequada de reservatório de regularização em projetos hidro-agrícolas requer a necessidade de se desenvolver estudos de sua operação por meio de técnicas de simulação, para que seja verificada a garantia do suprimento aos cultivos nas situações mais críticas de estiagem, período em que as vazões afluentes são mínimas, e as demandas provavelmente acima da média destes deflúvios. Por intermédio destas técnicas, pode-se estabelecer critérios para uma programação mais adequada para o manejo do suprimento do reservatório.

Os elementos indispensáveis ao estudo da operação do reservatório são constituídos pelas demandas, pelas disponibilidades hídricas úteis já descritas e, pelas características do próprio reservatório. Quanto a este último, um levantamento da bacia hidráulica permite a planimetria das áreas inundáveis possibilitando determinar a equação da curva da superfície i-

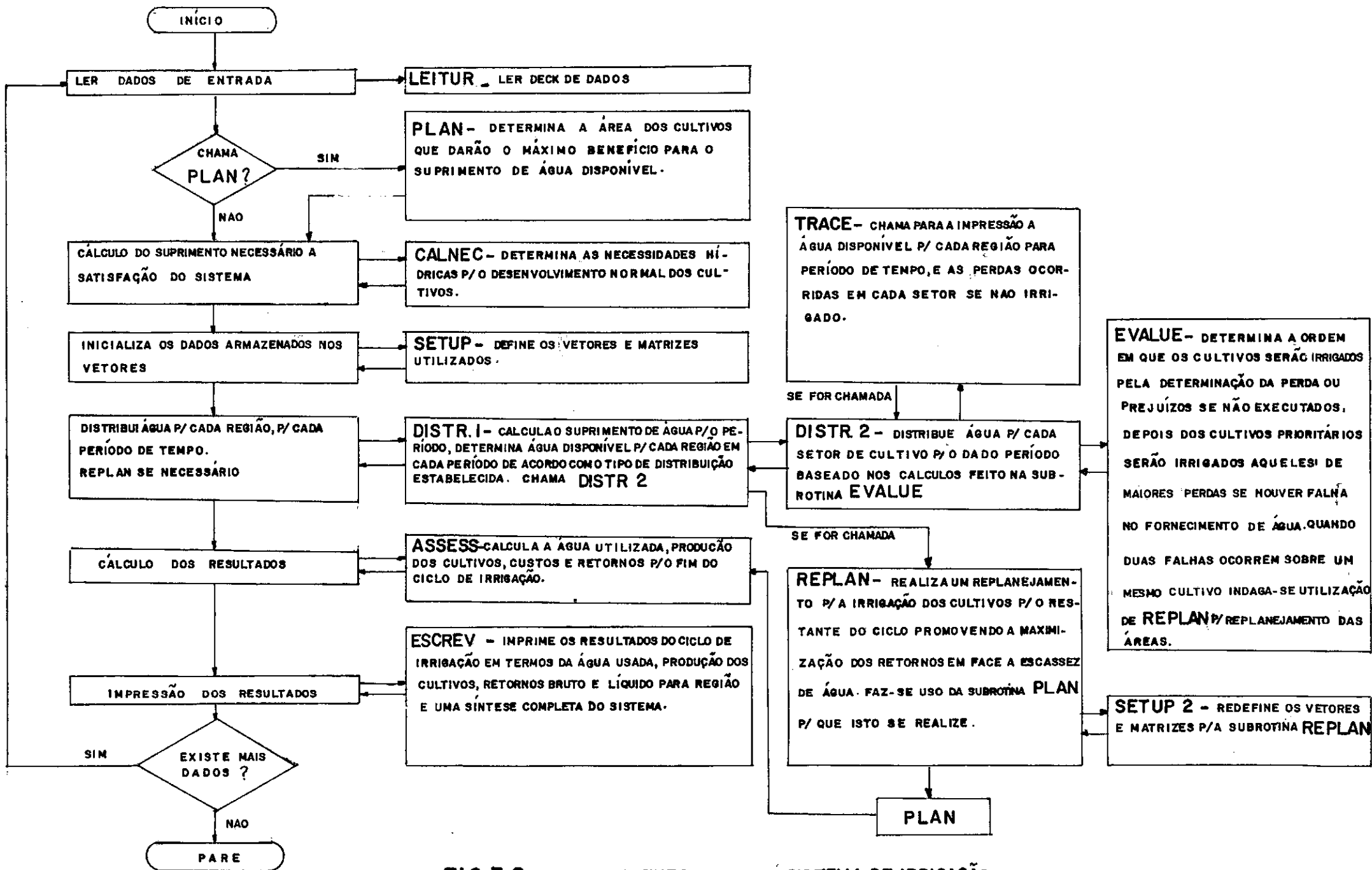


FIG.3.6-PROGRAMA EXECUTIVO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

nundada e a equação da curva de volumes armazenados, e o estabelecimento do volume útil de armazenamento, pela fixação da cota de tomada d'agua e da soleira do sangradouro.

Na consideração de que a água é um fator limitante e de se pretender aproveitar tanto quanto possível, integralmente as afluições ao reservatório, três casos podem ser considerados, conforme Barra (1970).

- 1 - O reservatório tem volume útil de armazenamento o tanto suficiente para regularizar uma porcentagem do deflúvio médio anual afluyente, que vem a ser as demandas a serem satisfeitas com uma certa garantia.
- 2 - O reservatório, está superdimensionado ou seja tem capacidade acima da exigida para regularização da porcentagem fixada do deflúvio médio anual afluyente. Deixando-se armazenar mais água de que este volume, haverá um aumento das perdas por evaporação, sem trazer qualquer benefício para a economia do sistema.
- 3 - Finalmente, temos o caso em que o reservatório está subdimensionado para a regularização da porcentagem fixada de deflúvio médio anual afluyente, e perde-se água, não apenas por evaporação, como também por transbordamento nos anos mais úmidos do período médio considerado.

Uma solução para o segundo caso seria, diminuir ao mínimo as perdas por evaporação regando a maior área possível, dentro dos condicionamentos do sistema implantado, e das necessidades dos cultivos em cada período do ciclo cultural de for-

ma a alcançar os melhores benefícios. Para o terceiro caso, se faz necessário um estudo do melhor deplecionamento do reservatório em correspondência ao critério de maximização dos benefícios, aproveitando-se ao máximo os deflúvios anuais afluentes, regando a maior área possível.

Com base nos elementos climatológicos, hidrológicos e do uso consuntivo de água pelos cultivos, em um intervalo de tempo  $\Delta t$ , mensal por exemplo, e as demandas provenientes da utilização das diversas áreas de cultivos, determina-se os volumes armazenados do reservatório, de acordo com um balanço entre as entradas e saídas do reservatório, conforme mostrado pela expressão abaixo:

$$V_f = V_i + VM + P - (EVAP + D + E) \quad (3.33)$$

Onde  $V_i$  e  $V_f$  são os volumes armazenados no início e fim do intervalo  $\Delta t$ ;  $VM$  é o volume de contribuição correspondente aos deflúvios no intervalo  $\Delta t$ ;  $P$  é o volume de água precipitado sobre o reservatório, produto da altura de precipitação pela superfície média inundada no intervalo  $\Delta t$ ;  $EVAP$  é o volume de água evaporado, produto da altura de evaporação pela superfície média inundada no tempo  $\Delta t$ ;  $D$  é a demanda de projeto no intervalo  $\Delta t$  portanto já considerada a eficiência;  $E$  é o excesso ou volume transbordado no intervalo  $\Delta t$ .

É realizado este balanço, no reservatório para as demandas resultantes das unidades do distrito de acordo com premissas estabelecidas e analisando-se o comportamento do mesmo no tocante aos volumes armazenados. Ainda para as áreas simuladas para o distrito, pode-se através da exploração do reser

vatório fixar normas que deverão reger o abastecimento de água ao distrito irrigado, designando as áreas que mesmo nas condições mais desfavoráveis do período crítico é possível irrigar-se sem deficiências, utilizando toda água armazenada e os deflúvios afluentes no mesmo período, e obtendo assim, uma melhor utilização do reservatório.

A operação do reservatório foi realizada considerando-se os elementos já descritos, em duas etapas:

- a) Em um primeiro estágio dos estudos da operação, considerou-se as áreas dos cultivos otimizadas na simulação do sistema de irrigação e de acordo com um programa de liberação de água a satisfazer as demandas juntamente com as contribuições e perdas nas condições mais desfavoráveis, correspondente ao período crítico, realizou-se a evolução do reservatório para as séries histórica e geradas. Para isto, foi desenvolvido um modelo matemático para computação digital em linguagem Fortran, em que são considerados mensalmente em um balanço como entrada as vazões afluentes ao reservatório e as precipitações sobre seu espelho para cada volume armazenado, e como saídas as descargas correspondentes a evaporação também sobre o mesmo espelho, e as demandas de projeto. Estas demandas podem ser determinadas pela simulação do sistema de irrigação descrito na seção (3.6), ou obtida pela somatória das demandas dos cultivos selecionados no mês, considerando as eficiências do projeto.

Com isto, se terá um primeiro comportamento da ope-



ração do reservatório a satisfazer as necessidades da irrigação.

- b) Em um estágio subsequente, pode-se formular um programa de operação em que, os cultivos e áreas cultivadas podem variar de ano a ano, dependendo da política de implantação do projeto podendo-se utilizar critérios criados pelo gerenciamento do mesmo, para regularização plurianual à realização de um plano de cultivos baseado nas disponibilidades de água armazenada e das vazões, que se espera poder afluir ao reservatório neste período. Portanto, a probabilidade das demandas para aquele plano de cultivo ser satisfeito, passa a ser uma função direta da água armazenada no reservatório no início da operação do projeto, e das previsões realizadas sob um determinado risco, a cerca das afluências e das demandas. Neste trabalho só será considerada a primeira alternativa.

## C A P Í T U L O   I V

### APLICAÇÃO DA METODOLOGIA E RESULTADOS

#### 4.1 Características da Área do Sistema de Irrigação Selecionado

Com o intuito de mostrar o emprego da metodologia desenvolvida, partiu-se para a seleção de um sistema, onde as características, associadas a premissas estabelecidas, tornassem possível a sua aplicação, considerando-se como elemento de maior importância, a limitação do suprimento hídrico com relação a demanda total do distrito de irrigação, em determinadas épocas de escassez.

Assim, selecionou-se o projeto de irrigação do Vale do Banabuiú, no qual está contido o projeto de Morada Nova de denominação pelo qual ficou conhecido no seu todo, localizado nos municípios de Quixadá, Morada Nova, e Limoeiro do Norte, todos no estado do Ceará. A área do projeto é representada na Figura 4.1 .

Foi utilizado neste trabalho o computador Burroughs B 6700, com 1600 k de memória física, do Centro de Computação da Universidade Federal do Rio de Janeiro (U.F.R.J.), e a linguagem empregada o Fortran IV.

Localizado no perímetro das secas, o projeto se encontra entre  $39^{\circ} 15'$  e  $38^{\circ} 07'$  de latitude e  $59^{\circ} 30'$  e  $59^{\circ} 5'$  de longitude, distando 161 km aproximadamente de Fortaleza por rodovia e 153 km aproximadamente de Mossoró (R.G.N.) seus principais centros consumidores, sendo administrado pelo Departamento Nacional de Obras contra as Secas. (D.N.O.C.S.)

*É caracterizada pelos seguintes fatores:*

- *Pluviometria média na área bastante baixa, distribuída irregularmente no tempo e espaço; a média anual é aproximadamente 700 mm;*
- *Meses chuvosos: Fevereiro a Julho;*
- *Altitude média do projeto 80m, acima do nível médio do mar;*
- *Os rios principais que compõem o sistema ( rio Banabuiu e rio Sitiã) possuem regimes intermitentes;*
- *Solos com baixa capacidade de retenção de água fator limitante da vegetação.*

*O suprimento hídrico do projeto é assegurado pelos reservatórios públicos Arrojado Lisboa (Banabuiu) no rio Banabuiu com volume  $1750 \times 10^6 \text{ m}^3$ , área regularizada de  $13472 \text{ km}^2$  e espelho d'água máximo aproximadamente  $166 \text{ km}^2$  e o Pedras Brancas com volume de  $434 \times 10^6 \text{ m}^3$ , área regularizada de  $2001 \text{ km}^2$  e espelho d'água máximo aproximadamente  $75 \text{ km}^2$  [D.N.O.C.S. (1973) e Construção Pesada (1976)]. Nas Figuras 4.2 e 4.3 apresenta-se as relações cota, volume e área, para os dois reservatórios.*

*Embora não considerado para efeito de utilização no projeto existe ainda o reservatório de Quixeramobim no rio Quixeramobim afluente do rio Banabuiu com volume útil de  $54 \times 10^6 \text{ m}^3$  e área regularizada de  $8300 \text{ km}^2$ . Devido a pequena capacidade deste reservatório não foi empregado neste trabalho por se considerar somente a satisfação das demandas de á-*

POSTOS			PLUVIOMÉTRICOS			
BACIA DO RIO BANABURU						
Nº	CODIGO	POSTO	ÁREA DE INFLUÊNCIA M²	LATITUDE	LONGITUDE	REDE
1	CE-186	QUIXERAMOBIM	1450,00	8° 17' 57"	38° 48' 57"	BRASIL
2	CE-41	ROA VERDE	4780,00	8° 07' 58"	38° 44' 33"	"
3	CE-149	PIEDRA BRANCA	2070,00	8° 07' 12"	38° 42' 58"	"
4	CE-121	MANA PEREIRA	2425,00	8° 04' 34"	38° 42' 58"	"
5	CE-181	SENADOR	1357,00	8° 02' 04"	38° 42' 58"	"
6	CE-124	RIO MORAS QUIXERAMOBIM	467,00	8° 02' 58"	38° 42' 58"	"
7	CE-49	S. PEDRAS BRANCAS QUIXERAMOBIM	487,00	8° 10' 00"	38° 42' 58"	"
BACIA DO RIO SITIA						
7	CE-46	S. PEDRAS BRANCAS QUIXERAMOBIM	409,00	8° 10' 00"	38° 42' 58"	"
8	CE-41	JUNCO QUIXERAMOBIM	200,00	8° 02' 00"	38° 42' 58"	"
9	CE-4	ÁGUA CEDIDA QUIXERAMOBIM	420,00	8° 02' 00"	38° 42' 58"	"
10	CE-188	UNIQUE QUIXERAMOBIM	272,00	8° 02' 00"	38° 42' 58"	"

POSTOS PLUVIOMÉTRICOS - BACIAS DOS RIOS BANABURU E SITIA					
Nº	CODIGO	CURSO D'ÁGUA	ÁREA DE INFLUÊNCIA	LATITUDE	LONGITUDE
1	28470000	RIO BANABURU EM S. POMPEU	4330	8° 05' 12"	38° 42' 58"
2	28470000	RIO QUIXERAMOBIM EM QUIXERAMOBIM	8200	8° 05' 12"	38° 42' 58"
3	28470000	RIO BANABURU EM ÁGUA DO BANABURU	13470	8° 05' 12"	38° 42' 58"
4	28470000	RIO SITIA EM P. BRANCA	2001	8° 05' 12"	38° 42' 58"

ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS - BACIAS DOS RIOS BANABURU E SITIA			
Nº	NOME	LATITUDE	LONGITUDE
1	QUIXERAMOBIM - CE	8° 18' 30"	38° 42' 58"
2	QUIXERAMOBIM - CE	8° 02' 00"	38° 42' 58"

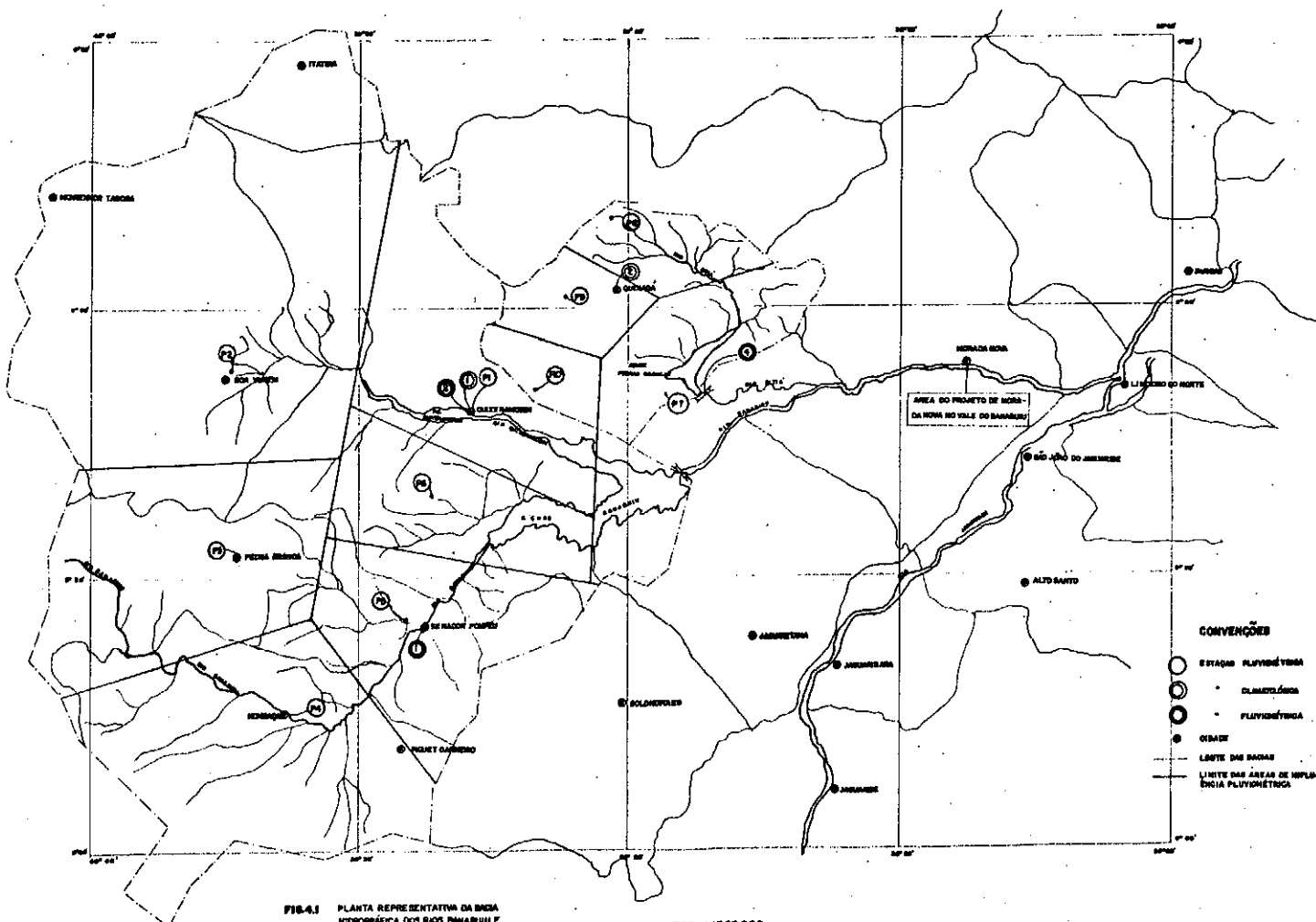


FIG. 4.1 PLANTA REPRESENTATIVA DA BACIA HIDROGRÁFICA DOS RIOS BANABURU E SITIA E DO PROJETO DE APROVEITAMENTO AGRÍCOLA DO VALE DO BANABURU

ESC. 1/500.000

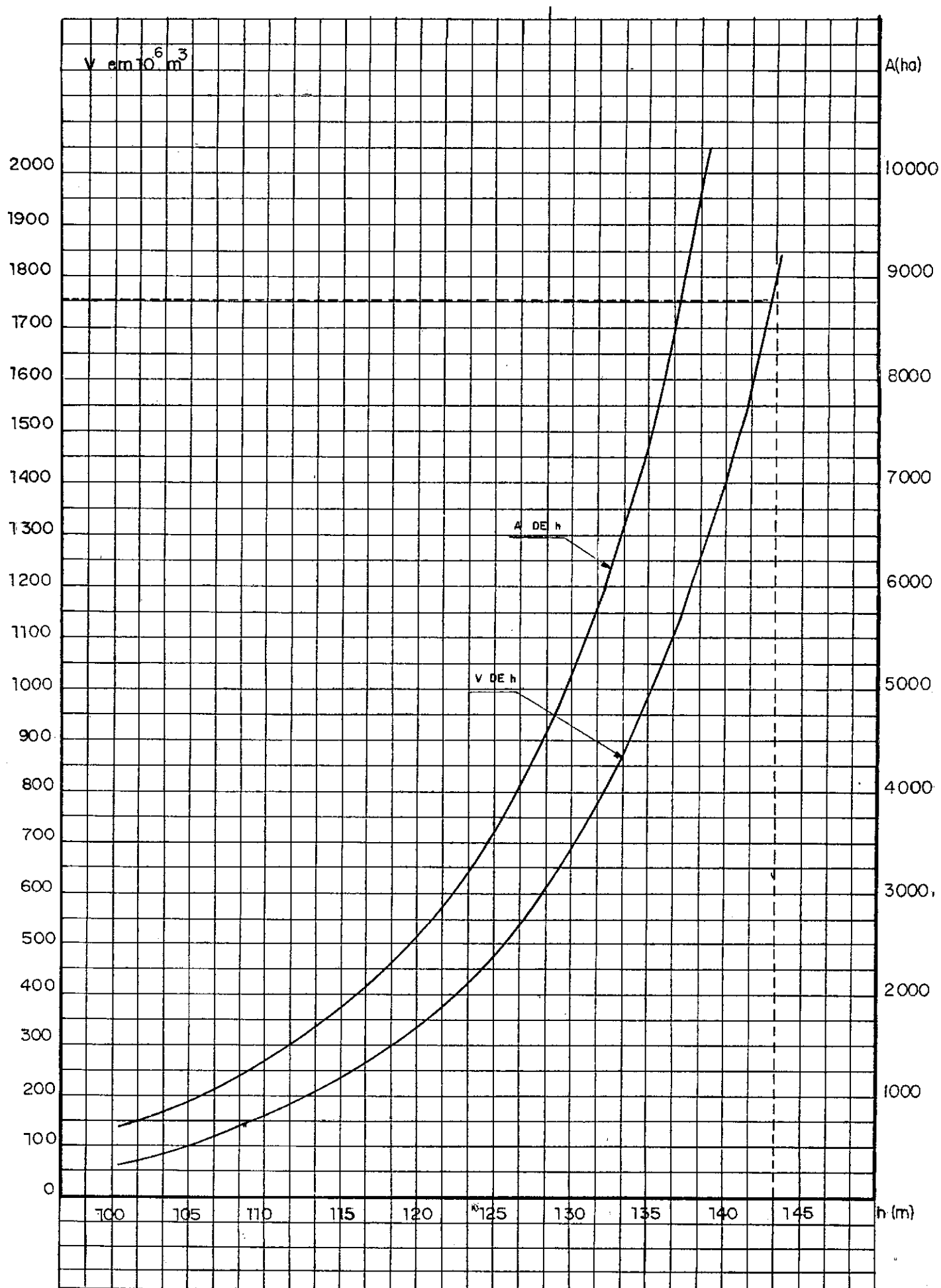


FIG.4.2. RELAÇÃO COTA VOLUME E ÁREA COTA PARA O RESERVATÓRIO ARROJADO LISBOA (BANABUIÚ).

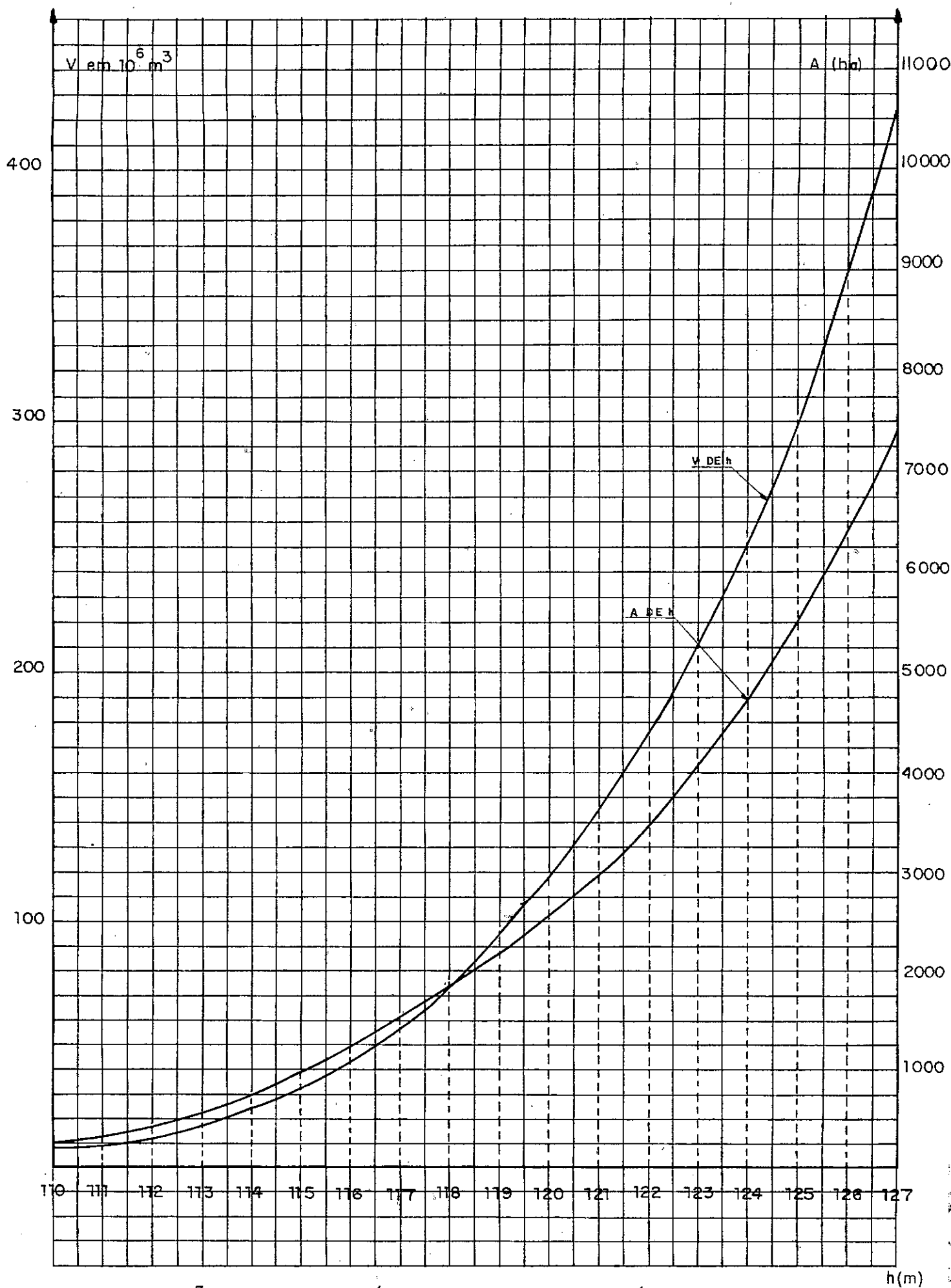


FIG.4.3. RELAÇÃO COTA VOLUME E ÁREA COTA PARA O RESERVATÓRIO DE PEDRAS BRANCAS.

gua de abastecimento das áreas periféricas.

A irrigação por gravidade vai beneficiar uma área aluvial situada a partir de 30 kilometros a jusante do reservatório Arrojado Lisboa (Banabuiu) e nas proximidades de Pedras Brancas em ambas as margens do rio Banabuiu. O Vale apresenta-se sob forma de bolsões aluvionais dispostos em ambos os lados do rio cujas qualidades pedológicas do solo sendo diversas podem ser consideradas favoráveis a irrigação.

A superfície total irrigável considerada satisfatória, soma mais de 12500 ha equivalente a uma área efetivamente irrigável e cultivável de 8300 ha . O projeto do Vale do Banabuiu, pretende-se que seja um empreendimento agrícola de caráter regional, tendo como exploração a do tipo familiar, em que cada colono recebe um lote irrigado com dimensões compatíveis a força de trabalho familiar, de tal forma que, proporcione rendimentos adequados, previamente estabelecidos.

Face a uma melhor política de valorização das potencialidades hídricas e do solo da região, o projeto vem-se desenvolvendo considerando dois tipos de zonas cultiváveis: D.N.O.C.S(1967/77) .

- Zonas secas ou de cultura de sequeiro;
- Zonas irrigadas

Na agricultura do primeiro tipo, normalmente são destinadas faixas de terras de grandes extensões a cada família de irrigantes, pois o rendimento da produção neste caso é muito baixo devido as culturas estarem submetidas diretamente as variações pluviométricas anuais, sem nenhuma forma de contribuição complementar de água para aliviar os deficits destas irre-

gularidades, dando a agricultura um caráter aleatório. Portanto nas épocas de médias e elevadas pluviometria a produção se rã incrementada e a rentabilidade será elevada, implicando em maior comercialização e maiores benefícios aos irrigantes. Já na agricultura irrigada, as faixas de terras estão localizadas as margens do rio Banabuiu, distribuídas em lotes familiares em menores dimensões, assegurando em todo desenvolvimento do projeto, produções estimadas previamente já que o suprimento de água necessário, é fornecido pela operação do reservatório, ga rantindo seus suprimentos nas piores hipóteses. Consequentemente torna-se de interesse neste trabalho a aplicação da metodologia unicamente as zonas do projeto em que se desenvolve a agricultura irrigada.

A aplicação do modelo de simulação a este sistema precisa do agrupamento dos diversos lotes em setores e zonas de cultivos, a constituir os setores, e posteriormente o distrito de irrigação conforme Figura 4.1 e demonstrado na apresentação do modelo na seção 3.6 .

As informações para a realização das simulações do sistema de irrigação, e para o desenvolvimento de alternativas foram extraídas do plano de exploração do projeto de Morada No va. DNOCS (1977).

Na implantação deste projeto as culturas foram limitadas aquelas que apresentam grande possibilidade de sucesso, levando em consideração o fator humano, o nível técnico dos agricultores, assim como a sua adequação ao clima da região.

DNOCS (1977).



Estas são:

- Culturas de subsistência: Feijão, mandioca, milho.
- Culturas destinados ao mercado: Amendoim, girassol, algodão anual, tomate, arroz.
- Fruticultura: Banana, frutas cítricas, abacate.
- Culturas forrageiras: Capim.

#### 4.2 Dados Hidrometeorológicos

Os dados fluviométricos e pluviométricos utilizados aqui, são aqueles apresentados pelo D.N.O.C.S (1973) compreendidos de 1922 a 1964.

##### a) Dados Fluviométricos:

Rio Banabuiu - As contribuições fluviométricas ao reservatório de Arrojado Lisboa constando na Tabela 4.1, são as afluentes ao reservatório do mesmo nome com área da bacia de contribuição de 13472 km<sup>2</sup>. Estes dados foram obtidos por correlação de área com as vazões observadas no posto do rio Banabuiu em Boqueirão do Meio perto de Morada Nova, com 59° 07' de latitude e 38° 23' de longitude e área de bacia de contribuição de 18400 km<sup>2</sup> operado pelo D.N.O.C.S.

As observações apuradas no posto Boqueirão do Meio correspondem ao período que se inicia em Setembro de 1935 a Agosto de 1957 com lacunas em Setembro de 1935 a Agosto de 1936 e Setembro de 1954 a Agosto de 1955, perfazendo 21 anos de observações.

O preenchimento das falhas para obter o período com

ANO	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	S. ANUAL
1921	0.00	125.32	194.25	154.25	526.36	14.78	2.47	0.66	0.13	0.00	0.00	0.00	88.19
1922	0.00	1.63	10.08	914.87	257.02	42.61	12.51	6.65	0.33	0.00	0.00	0.00	107.15
1923	0.00	15.04	56.20	93.99	15.42	33.09	3.76	0.32	0.02	0.00	0.00	0.00	18.49
1924	0.00	303.28	292.01	1137.95	141.62	100.26	21.81	5.14	1.00	0.00	0.00	0.00	166.92
1925	35.09	82.72	203.02	213.05	43.41	5.01	2.88	1.13	0.00	0.00	0.00	0.00	48.86
1926	0.00	19.30	284.48	177.96	137.66	9.06	0.50	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	52.44
1927	0.00	4.51	112.79	120.69	10.82	14.16	1.50	0.15	0.20	0.00	0.00	0.00	22.07
1928	0.00	0.00	10.33	33.71	36.25	0.88	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.83
1929	0.00	36.22	64.91	84.22	22.69	7.64	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.98
1930	0.00	0.10	7.77	15.90	10.73	5.71	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.40
1931	0.00	4.56	8.58	14.51	2.15	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.49
1932	0.00	0.00	0.00	4.39	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37
1933	0.00	0.22	27.58	89.06	3.51	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.05
1934	0.00	64.35	452.43	169.19	122.31	15.24	2.38	0.22	0.02	0.00	0.00	0.00	68.85
1935	0.00	466.00	303.00	668.00	172.00	21.00	1.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	135.92
1936	0.00	54.31	146.75	9.56	58.65	41.27	5.26	2.63	0.00	0.00	0.00	0.00	26.54
1937	0.00	1.60	0.08	69.00	45.00	34.00	1.90	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	12.66
1938	0.00	0.00	142.00	87.00	20.00	2.90	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.02
1939	0.00	4.80	73.00	26.00	6.10	4.60	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.57
1940	1.20	10.10	267.00	451.00	399.00	226.00	10.80	4.00	1.20	0.00	0.00	0.00	114.19
1941	0.00	1.80	81.00	10.80	7.50	1.60	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.62
1942	0.00	19.00	0.80	0.57	4.20	0.33	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.08
1943	0.00	10.30	13.30	17.70	6.60	2.70	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.24
1944	0.00	0.55	19.00	59.00	32.00	28.00	7.80	1.80	0.10	0.00	0.00	0.77	12.42
1945	9.70	115.00	33.00	40.00	214.00	28.00	8.00	2.30	0.50	0.00	0.00	0.00	37.54
1946	3.90	72.00	12.80	18.40	12.10	10.00	1.70	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	10.93
1947	0.00	2.30	67.00	124.00	132.00	6.30	2.10	0.32	0.00	0.00	1.40	1.30	28.06
1948	0.00	0.00	80.00	92.00	51.00	8.10	0.77	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	22.66
1949	0.00	8.70	15.50	22.00	30.00	4.10	0.53	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	6.75
1950	5.30	8.50	67.00	474.00	251.00	9.10	2.20	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	68.12
1951	0.00	0.98	0.00	1.63	0.02	15.80	7.20	0.50	0.05	0.00	0.00	0.00	2.18
1952	0.00	0.00	4.30	60.00	4.80	0.62	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.81
1953	0.00	0.00	0.00	2.00	7.40	3.70	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.12
1954	0.00	4.30	29.00	25.00	5.20	26.00	7.70	1.00	0.23	0.00	0.00	0.00	8.54
1955	3.91	2.18	3.26	44.31	48.01	2.39	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.68
1956	0.00	16.00	25.00	142.00	11.00	2.20	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.38
1957	0.00	0.00	9.30	340.00	172.00	7.60	1.80	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	44.26
1958	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1959	6.30	14.55	19.66	26.44	7.42	1.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.29
1960	0.00	0.00	150.40	61.09	26.27	2.01	1.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.77
1961	0.00	14.68	29.70	193.01	145.76	5.13	1.53	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	32.85
1962	0.00	5.29	34.07	31.65	6.42	8.61	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.20
1963	2.17	3.26	157.52	229.35	28.20	3.51	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.40
1964	28.10	70.06	377.24	629.16	468.73	80.21	16.76	14.75	3.23	0.00	0.00	0.00	140.69

## DESCRITORES MENSIS

HED.	*	2.17	35.54	88.31	164.51	86.27	18.99	2.96	0.99	0.16	0.00	0.03	0.05	33.33
D.P.	=	6.84	84.91	113.70	249.56	127.50	37.91	4.75	2.55	0.53	0.00	0.21	0.23	41.82
VAR.	*	46.78	7208.87	12927.84	62281.35	16355.54	1436.99	22.60	6.52	0.28	0.00	0.04	0.05	1749.20
ASSIV.	=	4.0077	3.9072	1.5831	2.4234	2.0521	4.2238	2.3872	4.1455	4.8259	0.0000	6.5539	4.9169	1.7879
KURT.	=	20.3937	20.8736	5.2621	9.5445	7.4116	25.1429	9.5406	24.0199	30.4445	0.0000	48.3444	29.0153	5.9037
C.VAR.	=	3.1455	2.3893	1.2876	1.5170	1.4825	1.9960	1.6075	2.5708	3.2989	0.0000	6.6332	4.7521	1.2548

Tab. 4.1 - Vazões históricas do Rio Banabuiu no reservatório Arrojado Lisboa (Açude Banabuiu).

pleto de Setembro de 1920 a Dezembro de 1964 foi obtido baseando-se em relações de áreas com as observações nos postos sobre o rio Banabuiu em Senador Pompeu, com 59° 36' de latitude e 39° 22' de longitude e área de bacia de contribuição de 4555 km<sup>2</sup>, juntamente, com o posto sobre o rio Quixeramobim em Quixeramobim com 59° 12' de latitude e 39° 19' de longitude e área de bacia de contribuição de 6202 km<sup>2</sup> situados no interior da bacia hidrográfica do Banabuiu, operados também pelo D.N.O.C.S.

Através de estudos do escoamento na bacia do rio Banabuiu, desenvolvidos pelo Grupo de Estudo do Vale do Jaguaribe (G.E.V.J.) para o D.N.O.C.S. (1973) chegou-se a definição de tres equações, que foram utilizadas no preenchimento das lacunas obtidas por correlação de áreas.

$$\bar{V}_B \cong 2,1722 V_Q \quad (4.1)$$

$$V_B \cong 2,9576 V_S \quad (4.2)$$

$$V_B = 1,2523 (V_S + V_Q) \quad (4.3)$$

Onde:

$V_B$  - Volume de contribuição mensal para o reservatório Arrojado Lisboa (Banabuiu) do rio Banabuiu,

$V_S$  - Volume de contribuição mensal em Senador Pompeu do rio Banabuiu;

$V_Q$  - Volume de contribuição mensal em Quixeramobim, do rio Quixeramobim.

Rio Sitiã - As contribuições fluviométricas ao reservatório de Pedras Brancas constando na Tabela 4.2 são aquelas observadas no posto de Pedras Brancas com latitude 59° 08' e longitude 38° 53' e área da bacia de contribuição de 2001 km<sup>2</sup> localizado a montante do reservatório e operado pelo D.N.O.C.S.

As observações apuradas neste posto correspondem ao período de Setembro de 1922 a Agosto de 1926, Setembro de 1928 a Agosto de 1928, Setembro de 1932 a Agosto de 1954, Setembro de 1955 a Dezembro de 1964.

Para a obtenção dos valores de Setembro de 1920 até Dezembro de 1964, inicialmente, foi feito o preenchimento nas lacunas na série anual empregando uma correlação hidropluviométrica que utiliza um índice pluviométrico IP, válido para os valores médios anuais:

$$IP = 0.37 P_{UR} + 0.32 P_{PB} + 0.31 P_{CD} \quad (4.4)$$

Onde:

IP - é o índice pluviométrico ;  $P_{UR}$  é a precipitação anual média em Uruquê;

$P_{PB}$  - precipitação anual média em Pedras Brancas;

$P_{CD}$  - é a precipitação média anual em Cedro. Logo

para cada mês no interior de um mesmo ano a contribuição anual foi repartida proporcionalmente a este valor de IP calculado com a chuva mensal.

A extensão das séries dos rios Banabuiu e Sitiã com o preenchimento das suas respectivas falhas foram efetuadas pelo G.E.V.J. e apresentado no estudo Geral de Base do Vale do Jaguaribe. D.N.O.C.S. (1973)

ANO	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	S. ANUAL
1921	0.00	0.80	30.00	24.00	17.50	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.09
1922	0.00	5.23	1.94	123.00	44.00	4.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.92
1923	0.00	0.59	2.00	4.00	0.40	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.59
1924	3.70	109.00	175.00	216.00	60.23	17.32	0.14	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	48.45
1925	0.00	1.86	101.00	119.60	51.00	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.79
1926	0.00	0.24	2.40	6.20	14.40	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.94
1927	0.00	1.10	11.00	36.00	4.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.36
1928	0.00	0.00	1.00	16.00	1.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.52
1929	0.00	5.22	25.50	18.50	6.40	0.55	0.96	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	4.77
1930	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1931	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
1932	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1933	0.28	1.54	0.90	26.30	4.50	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.83
1934	0.00	6.10	49.50	43.00	52.00	6.30	0.38	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	13.61
1935	0.00	0.57	4.50	39.00	5.70	4.80	0.42	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	4.59
1936	0.00	7.60	8.00	0.30	6.50	0.40	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.90
1937	0.00	8.24	0.00	4.90	2.90	2.30	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	1.54
1938	0.00	0.00	23.00	28.00	13.60	0.50	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.43
1939	0.00	2.70	16.00	2.80	1.80	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.95
1940	0.00	1.50	20.00	64.00	45.00	21.00	0.23	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	12.71
1941	0.00	0.35	8.40	1.20	0.14	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.84
1942	0.00	2.42	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21
1943	0.11	0.26	0.70	0.20	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.13
1944	0.00	5.23	2.50	15.00	8.60	1.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.77
1945	0.00	14.20	8.00	19.20	12.20	4.10	2.93	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	5.07
1946	0.64	2.52	2.30	2.00	0.30	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65
1947	0.00	0.33	12.30	32.00	20.00	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.45
1948	0.00	0.00	3.80	4.10	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76
1949	0.00	2.40	2.20	16.60	1.50	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.90
1950	0.00	0.00	24.00	66.30	26.20	1.10	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.52
1951	0.00	0.00	0.00	7.40	0.50	8.60	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.47
1952	0.00	0.00	0.30	6.20	12.80	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.65
1953	0.00	0.00	0.00	0.10	6.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53
1954	0.00	4.30	0.70	0.00	2.30	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63
1955	0.00	0.00	0.00	0.00	16.50	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.38
1956	0.00	0.14	4.00	22.20	2.50	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.41
1957	0.00	0.00	0.10	19.40	2.70	1.10	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.94
1958	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1959	0.94	5.80	5.10	2.20	4.40	0.13	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.55
1960	0.00	0.00	18.50	14.90	4.10	0.92	0.54	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	3.25
1961	0.00	24.70	43.40	46.70	16.20	5.00	0.31	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	11.36
1962	0.00	0.00	3.50	15.10	2.50	0.27	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.82
1963	0.00	0.56	45.30	28.00	4.30	0.60	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.57
1964	0.00	10.00	40.00	104.50	58.50	4.50	0.61	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	18.18

## DESCRIÇÕES MENSIS

## DESCR. ANUAL

MED.	=	0.13	5.13	15.84	27.62	12.32	2.04	0.19	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	5.27
O.P.	=	0.58	16.68	31.26	42.78	17.60	4.30	0.49	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04	8.49
VAR.	=	0.33	278.38	977.18	1829.91	305.25	18.48	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	72.16
ASSIM.	=	5.7641	5.8356	3.6812	2.6741	1.7687	3.2220	4.4006	3.4394	6.5539	0.0000	0.0000	6.5539	3.4681
KURT.	=	40.1438	41.1880	20.0263	12.0299	5.4027	14.9477	27.2730	17.2170	48.3444	0.0000	0.0000	48.3444	19.0593
C.VAR.	=	4.4818	3.2550	1.9735	1.5488	1.4285	2.1030	2.5914	2.6383	6.6332	0.0000	0.0000	6.6332	1.6106

Tab. 4.2 - Vazões históricas do rio Sitiá no reservatório Pedras Brancas.

### *b) Dados Climatológicos*

Quanto aos dados climatológicos para o projeto do Vale Banabuiu, as estações de Quixeramobim e Quixadá podem ser consideradas como representativas do clima da região. Apresenta-se nas Tabelas 4.3 e 4.4 os valores médios dos principais dados das referidas estações D.N.O.C.S. (1973) utilizados no trabalho.

MES	TEMPERATURA MÉDIA (°C)	INSOLAÇÃO (hrs e décimo)	UMIDADE MÉDIA RELATIVA (%)	PRECIPITAÇÃO (m m)	EVAPORAÇÃO (m m)	VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO (m/s)
JANEIRO	28,6	229,2	58,8	66,8	141,7	3,60
FEVEREIRO	27,8	189,3	64,6	107,9	99,9	2,10
MARÇO	27,1	200,6	70,1	187,8	84,6	2,10
ABRIL	26,8	200,3	72,7	168,8	74,2	2,10
MAIO	26,5	225,0	71,2	110,8	78,9	2,10
JUNHO	26,2	231,1	67,4	54,0	90,3	2,30
JULHO	26,4	261,7	61,0	25,6	122,1	2,50
AGOSTO	27,3	286,3	55,9	9,1	150,8	3,50
SETEMBRO	28,0	277,1	54,5	3,3	161,9	4,10
OUTUBRO	28,4	280,0	53,5	2,3	173,8	4,70
NOVEMBRO	28,5	261,5	54,5	5,8	169,7	4,50
DEZEMBRO	28,8	251,7	55,3	20,8	165,5	4,30
ANO	27,5	2893,8	61,6	763,0	1513,4	3,20

Tab. 4.3 Dados climatológicos da estação, de Quixeramobim-Ce Nº 82586 - Latitude 5º 12' - Longitude 39º 18' - Altitude 198.0 m . Período de observação 1911-1942.

MES	TEMPERATURA MÉDIA (z)	INSOLAÇÃO (hs e décimo)	UMIDADE MÉDIA RELATIVA (%)	PRECIPITAÇÃO (m m)	EVAPORAÇÃO (m m)	VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO (m/s)
JANEIRO	27,4	-	64,4	69,0	-	2,30
FEVEREIRO	26,8	-	68,3	132,3	-	1,80
MARÇO	26,5	-	70,5	192,8	-	1,90
ABRIL	26,4	-	70,6	176,1	-	1,90
MAIO	26,5	-	70,4	116,8	-	2,00
JUNHO	26,4	-	69,1	54,1	-	2,20
JULHO	26,4	-	67,8	21,5	-	2,30
AGOSTO	26,7	-	65,6	9,9	-	2,50
SETEMBRO	27,1	-	63,8	1,5	-	2,50
OUTUBRO	27,5	-	62,8	2,0	-	2,60
NOVEMBRO	27,6	-	63,2	5,8	-	2,50
DEZEMBRO	27,5	-	63,6	20,1	-	2,50
ANO	26,9	-	66,7	801,9	-	2,30

Tab. 4.4 Dados climatológicos da estação de Quixadá-Ce nº 82486 - Latitude 4º 58' Longitude 39º 01' - Altitude 180 m .Período de observação 1913-1942



ANO	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	S. ANUAL
1921	0.00	126.12	224.25	218.25	543.86	15.53	2.47	0.66	0.18	0.00	0.00	0.00	94.28
1922	0.00	6.86	12.02	1037.87	341.02	47.46	12.51	6.65	0.38	0.00	0.00	0.00	122.06
1923	0.00	15.63	58.20	97.99	19.22	33.19	3.77	0.32	0.02	0.00	0.00	0.00	19.08
1924	3.70	412.28	467.01	1353.95	201.85	117.58	21.95	5.15	1.00	0.00	0.00	0.00	215.37
1925	35.69	84.58	304.02	332.65	94.41	5.07	2.89	1.13	0.00	0.00	0.00	0.00	71.65
1926	0.00	19.54	286.88	184.16	152.26	9.09	0.51	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	54.38
1927	0.00	5.61	123.79	156.69	14.82	14.36	1.50	0.15	0.20	0.00	0.00	0.00	26.43
1928	0.00	0.00	11.33	49.71	37.85	1.08	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.34
1929	0.00	41.44	90.41	102.72	29.09	8.19	1.02	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	22.75
1930	0.00	0.10	7.77	15.90	10.73	5.71	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.40
1931	0.00	4.56	8.58	14.91	2.15	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.52
1932	0.00	0.00	0.00	4.39	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37
1933	0.28	1.76	28.48	115.36	8.81	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.92
1934	0.00	70.45	501.93	212.19	180.31	21.54	2.76	0.25	0.02	0.00	0.00	0.00	82.45
1935	0.00	466.57	307.50	707.00	177.70	25.80	1.42	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	140.51
1936	0.00	61.91	154.75	9.86	65.15	41.67	5.28	2.63	0.00	0.00	0.00	0.00	28.44
1937	0.00	9.84	0.08	73.90	47.90	36.30	2.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	14.20
1938	0.00	0.00	165.00	115.00	33.60	3.40	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.45
1939	0.00	7.50	89.00	28.80	7.50	4.73	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.52
1940	1.20	11.66	287.00	515.00	444.00	247.00	11.63	4.13	1.22	0.00	0.00	0.00	126.90
1941	0.00	2.15	89.40	12.00	8.04	1.64	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.46
1942	0.00	21.42	0.50	0.57	4.20	0.33	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.29
1943	0.11	10.58	14.00	17.90	6.63	2.70	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	4.37
1944	0.00	5.82	21.50	74.00	40.60	29.90	7.80	1.80	0.10	0.00	0.00	0.77	15.19
1945	9.70	129.20	41.00	59.20	226.20	32.10	10.53	2.53	0.50	0.00	0.00	0.00	42.61
1946	4.54	74.52	15.10	20.40	12.40	10.02	1.70	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	11.58
1947	0.00	2.63	79.30	156.00	152.00	7.06	2.10	0.32	0.00	0.00	1.40	1.30	33.51
1948	0.00	0.00	83.80	96.10	92.20	8.10	0.77	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	23.42
1949	0.00	11.10	17.70	38.60	31.50	4.21	0.53	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	8.65
1950	5.30	8.50	91.00	560.30	277.60	10.20	2.24	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	79.64
1951	0.00	0.98	0.00	9.03	0.52	24.40	7.94	0.50	0.05	0.00	0.00	0.00	3.65
1952	0.00	0.00	4.60	66.20	17.60	1.12	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.46
1953	0.00	0.00	0.00	2.10	13.40	4.00	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.66
1954	0.00	8.60	29.70	25.00	11.50	26.20	7.70	1.00	0.23	0.00	0.00	0.00	9.16
1955	3.91	2.18	3.26	44.31	64.51	2.49	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.06
1956	0.00	16.14	29.00	164.20	13.50	2.31	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.79
1957	0.00	0.00	9.40	359.40	174.70	8.70	1.84	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	46.21
1958	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1959	7.24	20.35	24.76	28.64	11.82	1.25	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.84
1960	0.00	0.00	168.90	95.99	30.37	2.93	2.02	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	25.03
1961	0.00	39.38	73.10	239.71	165.96	10.13	1.84	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	44.22
1962	0.00	5.29	37.57	46.75	5.32	8.88	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.01
1963	2.17	3.84	203.22	257.35	32.50	4.11	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.97
1964	28.10	80.06	417.24	733.66	527.23	84.71	17.37	14.82	3.23	0.00	0.00	0.00	158.87

## DESCRIPTORRES MENSIS

## DESCR. ANUAL

MED.	=	2.30	40.66	104.15	192.13	98.60	21.04	3.15	1.01	0.16	0.00	0.03	0.05	38.61
D.P.	=	6.85	94.17	133.60	287.95	135.38	41.66	4.92	2.57	0.53	0.00	0.21	0.23	48.67
VAR.	=	46.93	8867.92	17849.20	82912.83	19425.58	1735.69	24.22	6.58	0.29	0.00	0.04	0.05	2368.82
ASSIM.	=	3.9364	3.7077	1.5674	2.4750	1.5347	4.1878	2.2629	4.1268	4.8089	0.0000	6.5539	4.7456	1.9301
KURT.	=	19.9272	18.1566	5.1190	10.1073	6.7974	24.6620	8.6537	23.8771	30.2495	0.0000	48.3444	27.6323	7.0406
C.VAR.	=	2.9743	2.3160	1.2828	1.4587	1.4136	1.9805	1.5642	2.5418	3.2953	0.0000	6.6332	4.3272	1.2607

Tab. 4.5 - Vazões históricas afluentes ao reservatório equivalente (Rio Banabuiu e Stitiã).

### 4.3 Formulação do Sistema de Irrigação

As contribuições mensais que afluem aos dois reservatórios do sistema quais sejam, rio Banabuiu no açude Arrojado Lisboa (Banabuiu) e rio Sitiã no Pedras Brancas, são agregadas constituindo as vazões afluentes a um reservatório equivalente, cujo volume corresponde a soma dos dois reservatórios, conseqüentemente, todos os estudos relativos a análise da estrutura da série de deflúvios, análise do período crítico e geração de séries, realizar-se-á a partir da série de afluência resultante da série equivalente apresentada na Tabela 4.5 ..

Na dificuldade de se obter informações precisas sobre os volumes úteis dos reservatórios do projeto foi assumido volumes mínimos para ambos a fim de se determinar o volume útil do reservatório equivalente conforme visto na Tabela 4.6.

As relações existentes entre volume e área inundada para o reservatório equivalente, foram obtidas pela adição dos volumes correspondentes a cada porcentagem da capacidade útil dos dois reservatórios, e a respectiva área inundada ou espelho sendo a soma das duas áreas.

RESERVATÓRIO	VOLUME EM M <sup>3</sup>		
	MÍNIMO	MÁXIMO	ÚTIL
PEDRAS BRANCAS	$5 \times 10^6$	$434 \times 10^6$	$429 \times 10^6$
ARROJADO LISBOA (AÇUDE BABABUIU)	$20 \times 10^6$	$1750 \times 10^6$	$1730 \times 10^6$
EQUIVALENTE	$25 \times 10^6$	$2184 \times 10^6$	$2159 \times 10^6$

Tab. 4.6 Volumes característicos fixados para os reservatórios que compõem o suprimento do sistema de irrigação.

Utilizando um programa que ajusta dois conjuntos de dados através de um polinômio, Pacitti e Atkinsons (1976), encontrou-se a seguinte relação entre área inundada e volume armazenado para o reservatório equivalente:

$$ESP = 1179.32 \text{ vol m}^3 - 2455.52 \text{ vol m}^2 + 10559.35 \text{ vol m} + 436.67 \quad (4.5)$$

onde  $\text{vol m}^3$  é o volume armazenado em  $\text{hm}^3$ ; ESP o espelho do reservatório em ha.

A expressão 4.5 será utilizada na operação do reservatório para o cômputo dos volumes precipitados e evaporados na superfície do mesmo, onde na Figura 4.4 vê-se a sua representação gráfica.

Atualmente, com a nova política de irrigação no Nordeste um melhor rendimento tem-se verificado quando se adota a solução conjunta das culturas em áreas irrigadas e em áreas secas com o objetivo de maximizar a rentabilidade, e, assegurando assim os cultivos de subsistência nas épocas de baixas precipitações. [D.N.O.C.S. (1975)].

Todavia a área total aqui considerada, denominada de distrito, será a correspondente a área potencialmente irrigável do projeto, como já referido na Seção 4.1, pois os cultivos de zonas secas ou sequeiro não serão cogitados pela dependência direta destas as precipitações, não tendo assim influência sobre a operação do reservatório do sistema.

O distrito poderá ser dividido em setores, subdivididos em cultivos e estes por sua vez em explorações, com prioridades estabelecidas, ou não, de certos cultivos e, setores, de acordo com a política de implantação. Um fluxograma esquemático é apresentado na Figura 4.4a.

O tempo de viagem correspondente ao momento em que é

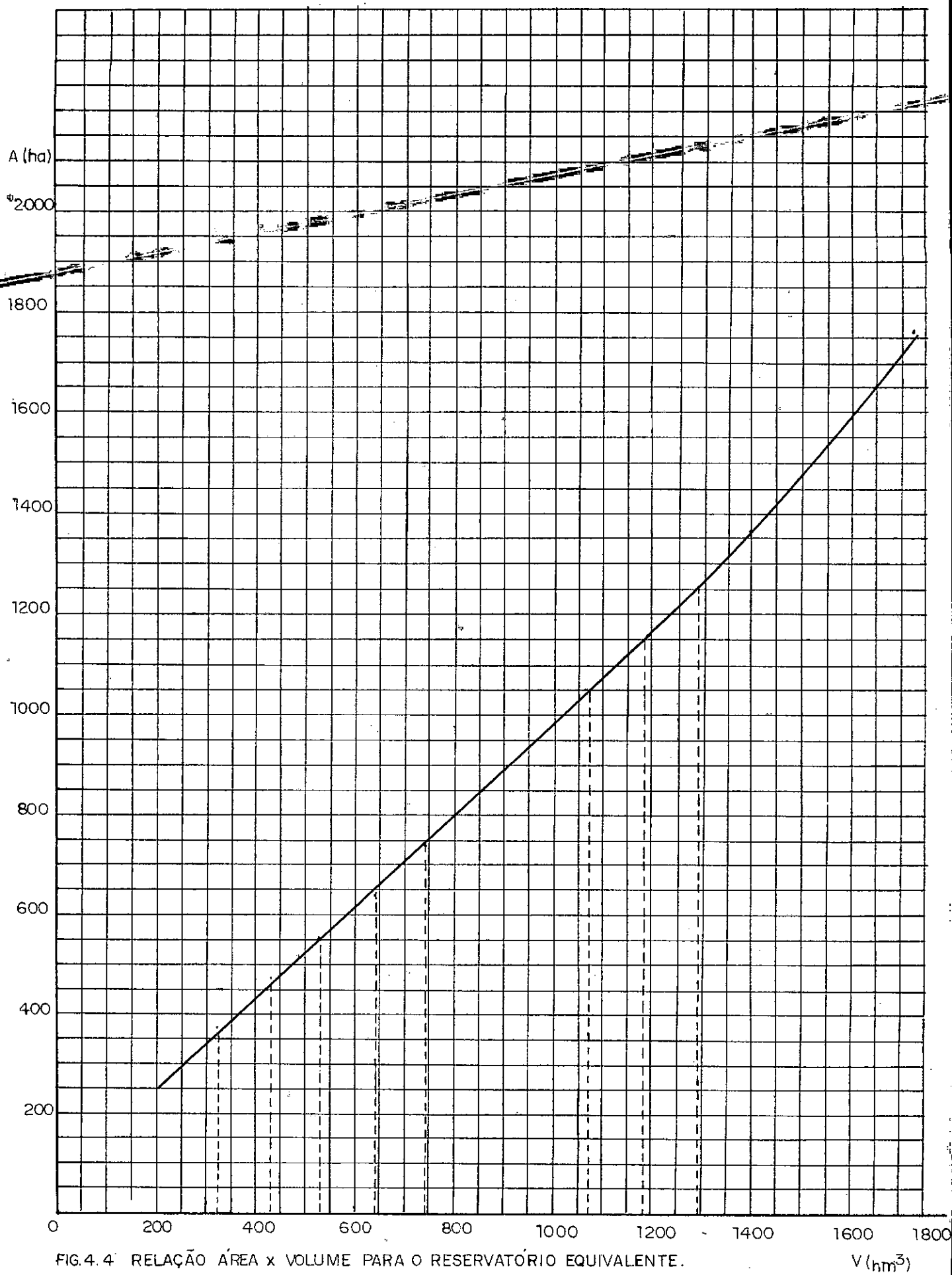


FIG.4.4 RELAÇÃO ÁREA x VOLUME PARA O RESERVATÓRIO EQUIVALENTE.

 $V(\text{hm}^3)$

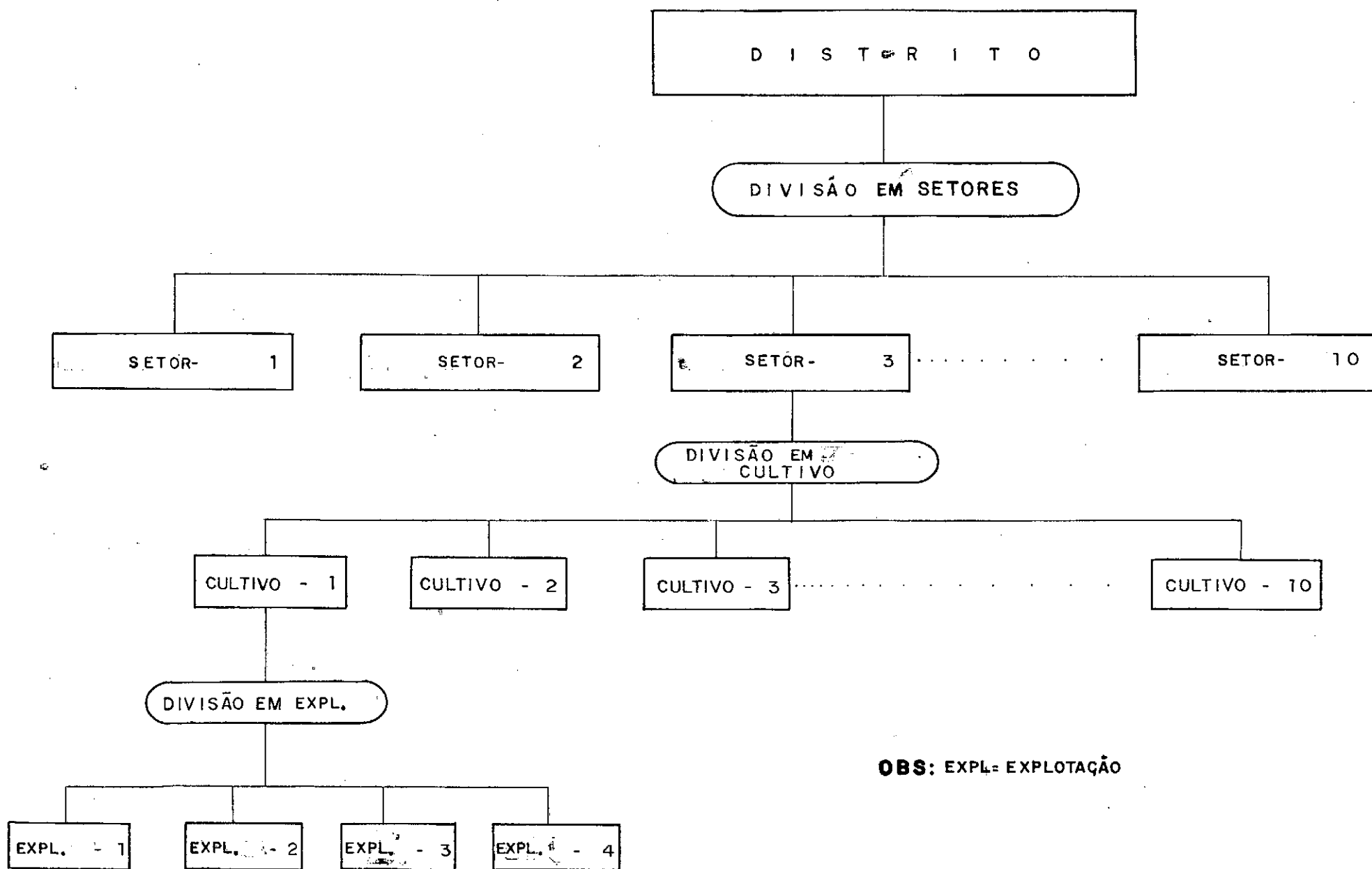


FIG. 4.4a - FLUXOGRAMA DE SUB-DIVISÃO DO DISTRITO DE IRRIGAÇÃO

liberado a água do reservatório até a aplicação as unidades do sistema foi considerado irrelevante pelo fato dos balanços serem realizados pelas necessidades mensais.

#### 4.3.1 Análise Hidrológica

##### A - Análise da estrutura da série

A série de deflúvios utilizada conforme esclarecido anteriormente, foi analisada considerando primeiro a série anual correspondente e a série mensal em seguida.

##### a) Transientes

Para a realização da análise de transientes, foi determinada a série anual apresentada na Tabela 4.7 e graficada conforme Figura 4.5, considerando a média dos deflúvios em cada ano de observação, usando a equação (3.5). Para a identificação dos possíveis saltos e tendências dividiu-se esta série em duas metades ou sub amostras, e usando a avaliação de constância de parâmetros, chegou-se aos resultados apresentados na Tabela 4.9.

Os estatísticos da série anual dos deflúvios mostrados na Tabela 4.8, foram obtidos a partir da equação (3.5) do cálculo dos momentos, pela substituição de  $X_{i,j}$  por  $X_i$  com  $i=1, N$  sendo  $N$  o comprimento do vetor, e corrigidos de acordo com as expressões sugeridas por Yevjevich (1972a) para estimadores bias.

ANO	MÉDIA ANUAL ( $m^3/s$ )
1921	94,28
1922	122,06
1923	19,08
1924	215,37
1925	71,65
1926	54,38
1927	26,43
1928	8,34
1929	22,75
1930	3,40
1931	2,52
1932	0,37
1933	12,92
1934	82,45
1935	140,51
1936	28,44
1937	14,20
1938	26,45
1939	11,52
1940	126,90
1941	9,46
1942	2,29
1943	4,37
1944	15,19
1945	42,61
1946	11,58
1947	33,51
1948	23,42
1949	8,65
1950	79,64
1951	3,65
1952	7,46
1953	1,66
1954	9,16
1955	10,06
1956	18,79
1957	46,21
1958	0,00
1959	7,84
1960	25,03
1961	44,22
1962	9,01
1963	41,97
1964	158,87

Tab. 4.7 Série anual histórica das vazões afluentes ao reservatório equivalente (Rio Banabuiu e Sitiã)

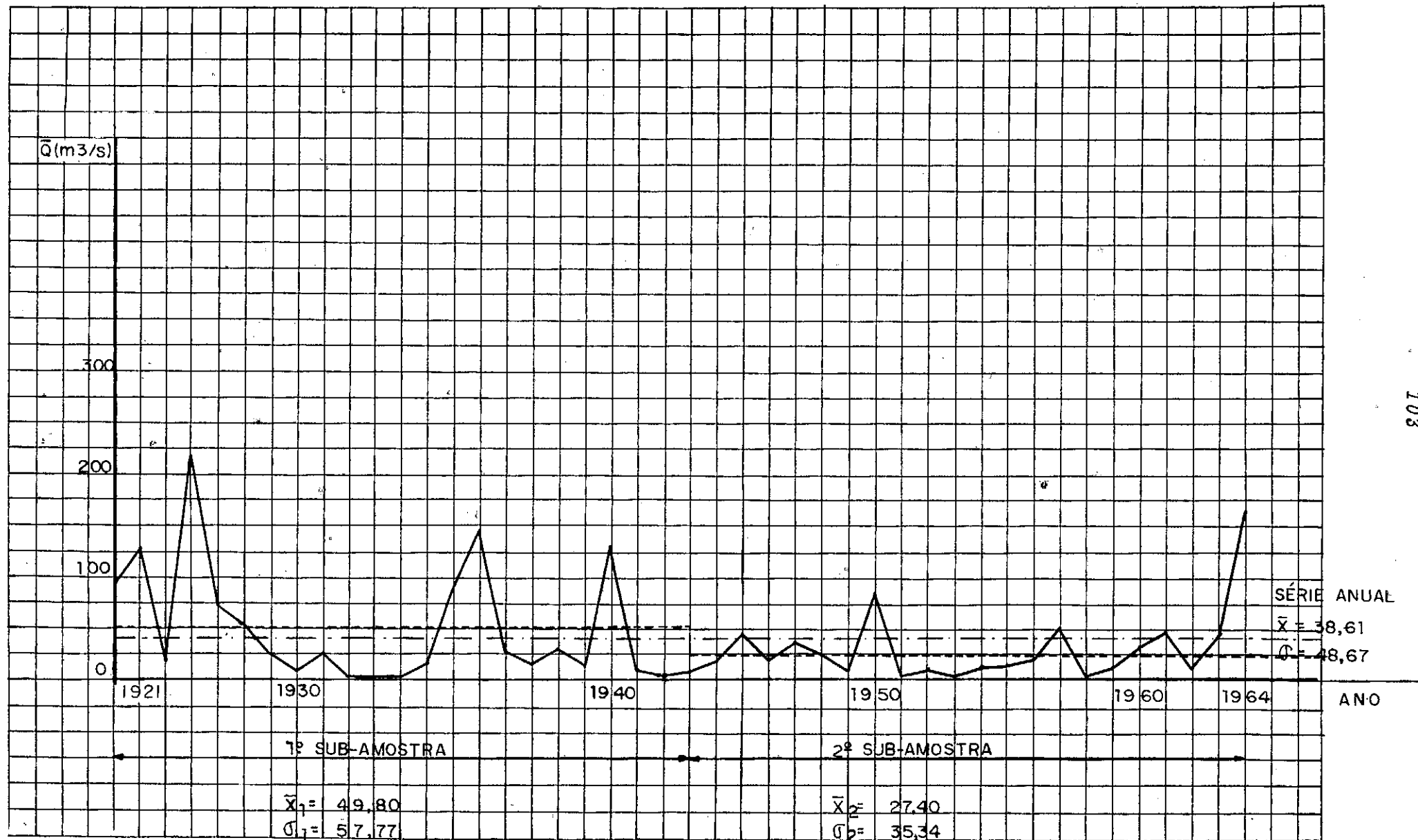


FIG. 4.5. GRÁFICO DA SÉRIE ANUAL DAS VAZÕES AFLUENTES AO RESERVATÓRIO EQUIVALENTE (RIOS BANABUIU E SINTIÁ).



PARÂMETROS	POSTOS
	AÇUDE BANABUIU E PEDRAS BRANCAS
MÉDIA	38,61
D.P.	48,67
VARIÂNCIA	2368,82
ASSIMETRIA	1,93
CURTOSE	7,04
COEF. VAR.	1,26

Tab. 4.8 Parâmetros da série anual das vazões afluentes ao reservatório equivalente (Rios Banabuiu e Sitiã).

Para as duas sub-amostras selecionadas fez-se a estimação dos parâmetros para aplicação dos testes conforme apresentado na Tabela 4.9

ELEMENTOS P/O TESTE	SUB-AMOSTRA 1	SUB-AMOSTRA 2
NÚMERO DE OBSERVAÇÕES (N)	22	22
MÉDIA ( $\bar{X}$ )	49,80	27,40
VARIÂNCIA ( $S^2$ )	3338,17	1249,34

Tab. 4.9 Parâmetros utilizados na análise de transientes para as sub-amostras da série das vazões afluentes ao reservatório equivalente (Rios Banabuiu e Sitiã).

O estatístico  $F$  utilizado para o teste de igualdade de variância foi: 2,671; utilizando uma tabela de distri

buição  $F$  com (21,21) graus de liberdade e 5% de nível de confiança tem-se o valor crítico de 2,10, e como  $F_{cal} = 2,671 > F_{tab} = 2,090$  a hipótese nula, conforme descrito na seção 3.2.1, é rejeitada. O estatístico  $t$ -Modificado, Neville-Kennedy(1964), de igualdade de média foi 0,33; utilizado uma tabela de distribuição  $t$  - Student com (21,21) graus de liberdade e 5% de nível de significância tem o valor de 0,33 e como  $t_{cal} = 0,33 < t_{tab} = 2,092$ , a hipótese nula, conforme descrito na seção 3.2.1, é aceita. Um resumo dos resultados é apresentado na Tabela 4.10. Deve-se ressaltar que este teste é aproximado pois as variâncias são diferentes.

PARÂMETROS	ESTATÍSTICO	VAZÕES AFLUENTES AO RESERVATÓRIO EQUIVALENTE	CONCLUSÕES
IGUALDADE DA MÉDIA (TESTE $t$ -MODIFICADO) COM NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA $\alpha$ E (N1 - 1) E (N2 - 1) GRAUS DE LIBERDADE GL	$t$ - CALC $t$ - CRIT. $\alpha$ $GL_1$ $GL_2$	0,33 2,092 5% 21 21	HIPÓTESE NULA ACEITA; LOGO AS MÉDIA SÃO IGUAIS.
IGUALDADE DA VARIÂNCIA (DISTRIBUIÇÃO $F$ ) COM NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA $\alpha$ E (N1 - 1) E (N2 - 1) GRAUS DE LIBERDADE GL	$F$ - CALC $F$ - CRIT. $\alpha$ $GL_1$ $GL_2$	2,671 2,090 5% 21 21	HIPÓTESE NULA REJEITADA; LOGO AS VARIÂNCIAS SÃO DIFERENTES

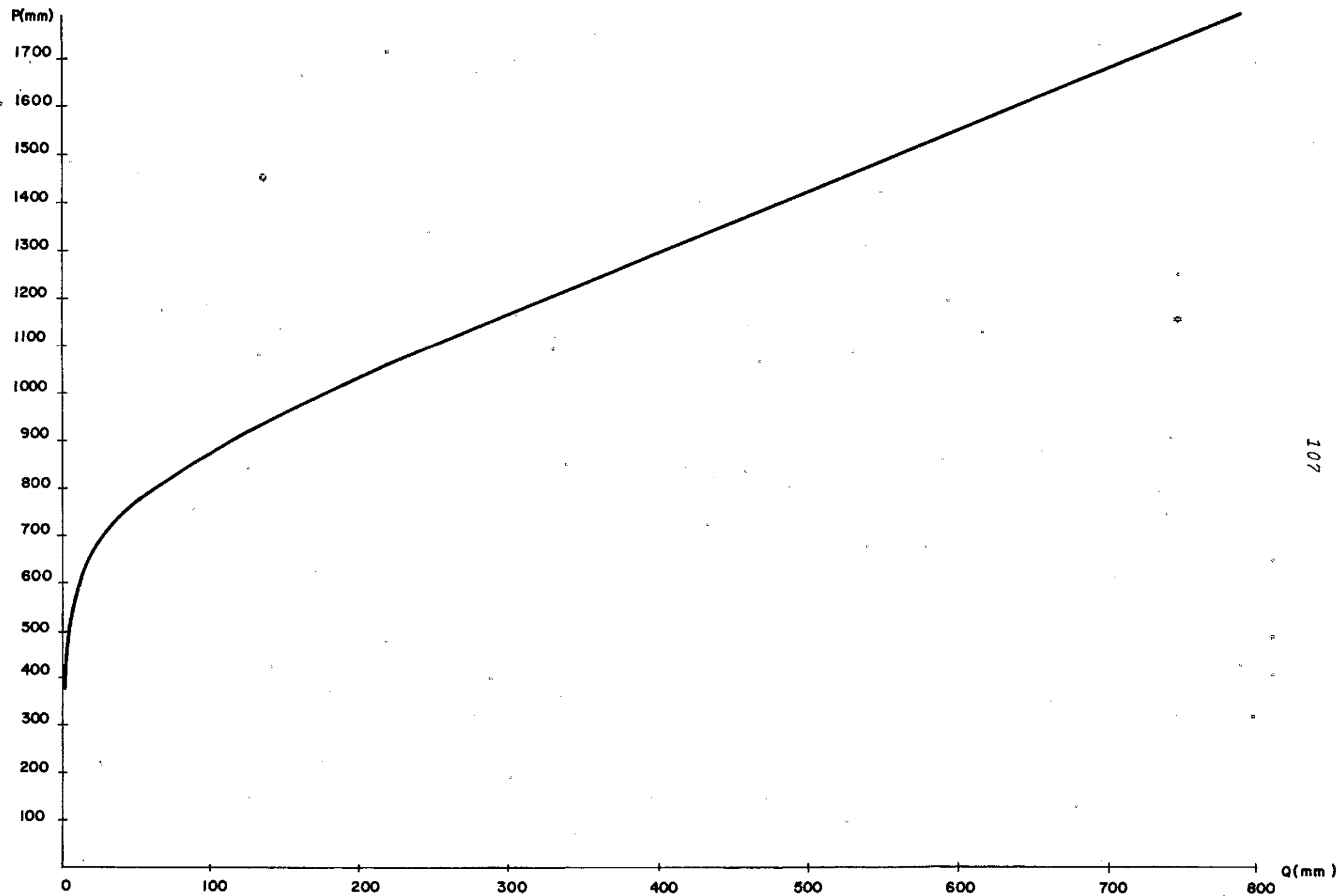
Tab. 4.10 Resultados do teste de igualdade de Parâmetros para as sub-amostras da série anual afluente ao reservatório equivalente (Rios Banabuiu e Sitiã).

- Comentários da análise de estacionaridade da série de deflúvios equivalentes no sistema.

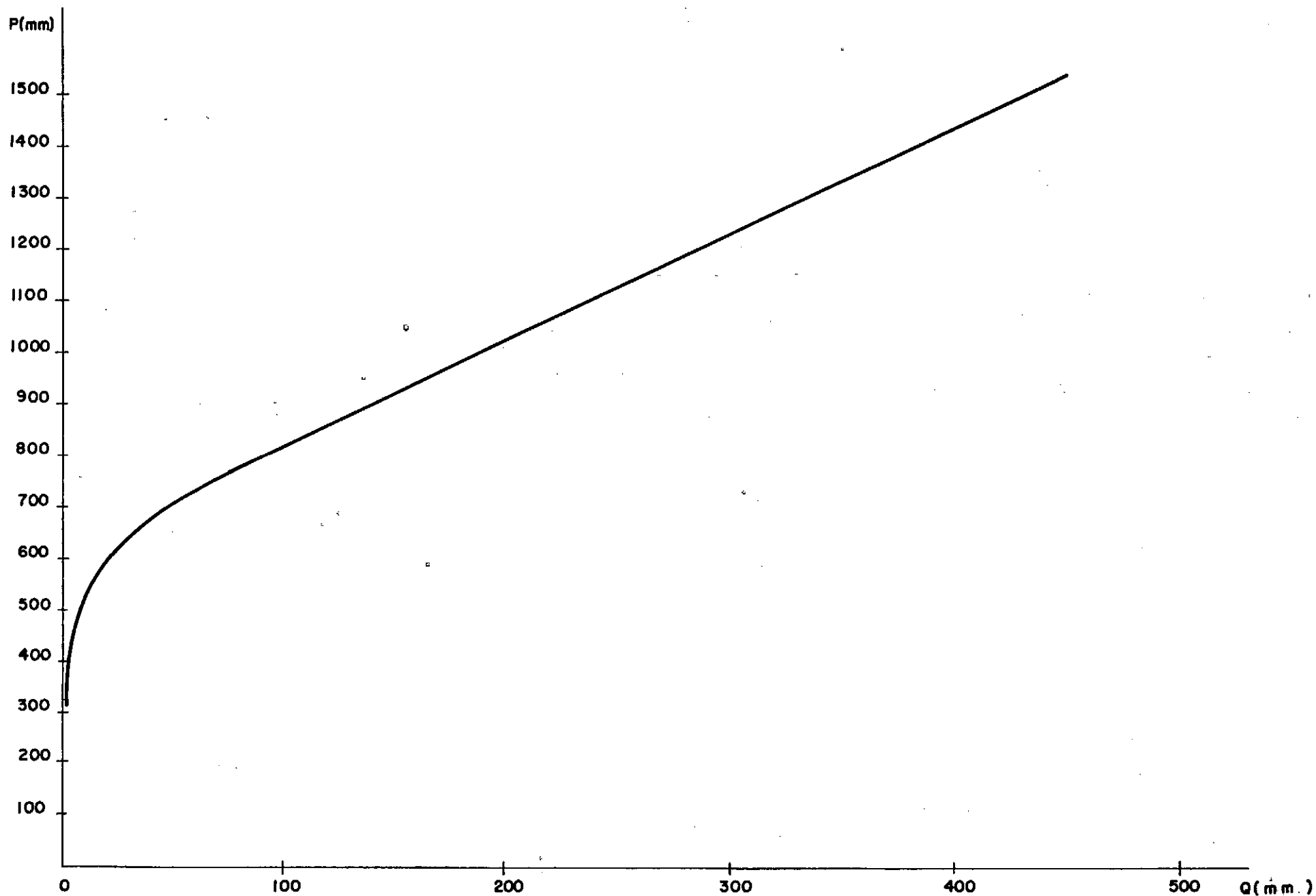
O gráfico da série de deflúvio anual afluente ao reservatório equivalente Figura (4.5) junto ao teste de igualdade de parâmetros das duas sub-amostras, a primeira vista indicaram num possível salto ocasionado por inconsistência ou não homogeneidade da série, porém esta possibilidade foi afastada por um estudo das relações existentes entre as precipitações e os deflúvios correspondentes nas bacias dos rios Banabuiu e Sitiã. Verificou-se que as referidas relações em ambas as bacias obedecem aproximadamente as curvas apresentadas nas Figuras 4.6 e 4.7 com alguns pontos dispersos e um nível de truncamento representando a precipitação mínima, a causar deflúvio.

Este estudo foi realizado, a partir da determinação das bacias de contribuições dos dois rios, em relação aos postos fluviométricos que dispõem de registro e com a estimação da precipitação média anual sobre as mesmas, utilizando-se, polígonos de Thiessen com os postos pluviométricos e seus respectivos pesos representados na Figura 4.1 Como o período de observações pluviométricas disponíveis (1912-1958) é maior que o de observações fluviométricas (1921-1964), se fez a relação tomando-se o período de 1921 a 1958. Na Tabela 4.11 e 4.12 tem-se os postos pluviométricos e suas áreas de influências e pesos (coeficientes) usados para as duas bacias, e na Tabela 4.13 as precipitações médias para as mesmas, onde se pode constatar que no período estudado tem-se aproximadamente a mesma média sobre as duas bacias.

Os gráficos das séries de precipitações médias



**FIG. 4.6** RELAÇÃO DAS PRECIPITAÇÕES E VAZÕES RESULTANTES TRANSFORMADAS EM PRECIPITAÇÕES SOBRE A BACIA DO RIO SITIA



**FIG. 4.7** RELAÇÃO DAS PRECIPITAÇÕES E VAZÕES RESULTANTES TRANSFORMADAS EM PRECIPITAÇÕES SOBRE A BACIA DO RIO BANABUIU.

anuais das referidas bacias (Figuras 4.8 e 4.9) juntamente com os parâmetros das sub-amostras das mesmas séries, Tabela 4.14, e a aplicação dos testes t-Student e F, resumido na Tabela 4.15, indicaram a estacionaridade da série de precipitações anuais. Para todos propósitos práticos pode-se observar que o aparente salto existente nos últimos anos de observações da série (1943-1964), pode ser justificada pela variação amostral causada por baixas precipitações, e, o baixo ou quase nulo escoamento resultante da relação não linear, entre precipitações e escoamento.

BACIA DO RIO BANABUIU			
POSTO	PLUVIÔMETRO	ÁREA DE INFLUÊNCIA	COEFICIENTE
QUIXERAMOBIM CE-156	P <sub>1</sub>	1460,00	0,109
BOA VIAGEM CE-41	P <sub>2</sub>	4795,50	0,356
PEDRA BRANCA CE-146	P <sub>3</sub>	2070,00	0,154
MARIA PEREIRA MOMBAÇA CE - 121	P <sub>4</sub>	2425,00	0,180
S. POMPEU CE-181	P <sub>5</sub>	1297,50	0,096
PRUD. MORAES QUIXERAMOBIM CE-154	P <sub>6</sub>	967,50	0,072
B. PEDRAS BRANCAS QUIXADÁ CE-49	P <sub>7</sub>	457,50	0,033
ÁREA TOTAL		13472,00 km <sup>2</sup>	

Tab. 4.11 Coeficientes para determinação da precipitação média na bacia do rio Banabuiu

BACIA DO RIO SITIA			
POSTO	PLUVIÔMETRO	ÁREA DE INFLUÊNCIA	COEFICIENTE
B. PEDRAS BRANCAS CE-156	P <sub>7</sub>	808,50	0,404
JUNCO QUIXADÁ CE-111	P <sub>8</sub>	500,00	0,250
AÇUDE CEDRO - QUIXADÁ CE-4	P <sub>9</sub>	420,00	0,210
URUQUE QUIXERAMOBIM CE-198	P <sub>10</sub>	272,50	0,136
ÁREA TOTAL		2001,00 km <sup>2</sup>	

Tab. 4.12 Coeficientes para a determinação da precipitação média na bacia do rio Sitia.

ANO	PRECIPITAÇÕES MÉDIAS ANUAIS	
	BACIA DO SITIA (mm)	BACIA DO BANABUIU (mm)
1921	1143,88	1167,52
1922	1110,77	1174,14
1923	944,57	663,72
1924	1776,35	1411,19
1925	1120,47	870,31
1926	695,56	782,51
1927	730,93	797,14
1928	554,31	513,41
1929	881,47	812,96
1930	367,83	535,26
1931	445,23	603,64
1932	287,64	302,77
1933	610,78	650,21
1934	1230,90	999,65
1935	828,20	917,78
1936	836,77	597,71
1937	665,59	565,44
1938	811,73	563,98
1939	685,39	628,92
1940	1045,71	1102,47
1941	461,24	542,90
1942	389,17	341,47
1943	484,53	521,88
1944	618,85	649,47
1945	970,33	901,65
1946	720,54	807,44
1947	964,32	803,89
1948	642,38	670,43
1949	621,14	531,86
1950	864,35	866,56
1951	579,49	496,23
1952	541,58	632,93
1953	401,84	438,37
1954	560,42	543,91
1955	665,93	651,67
1956	616,26	674,46
1957	622,71	696,31
1958	345,33	277,15
MÉDIA	733,00	703,00

Tab. 4.13 Precipitações médias nas bacias do rios Sitia e do Banabuiu.

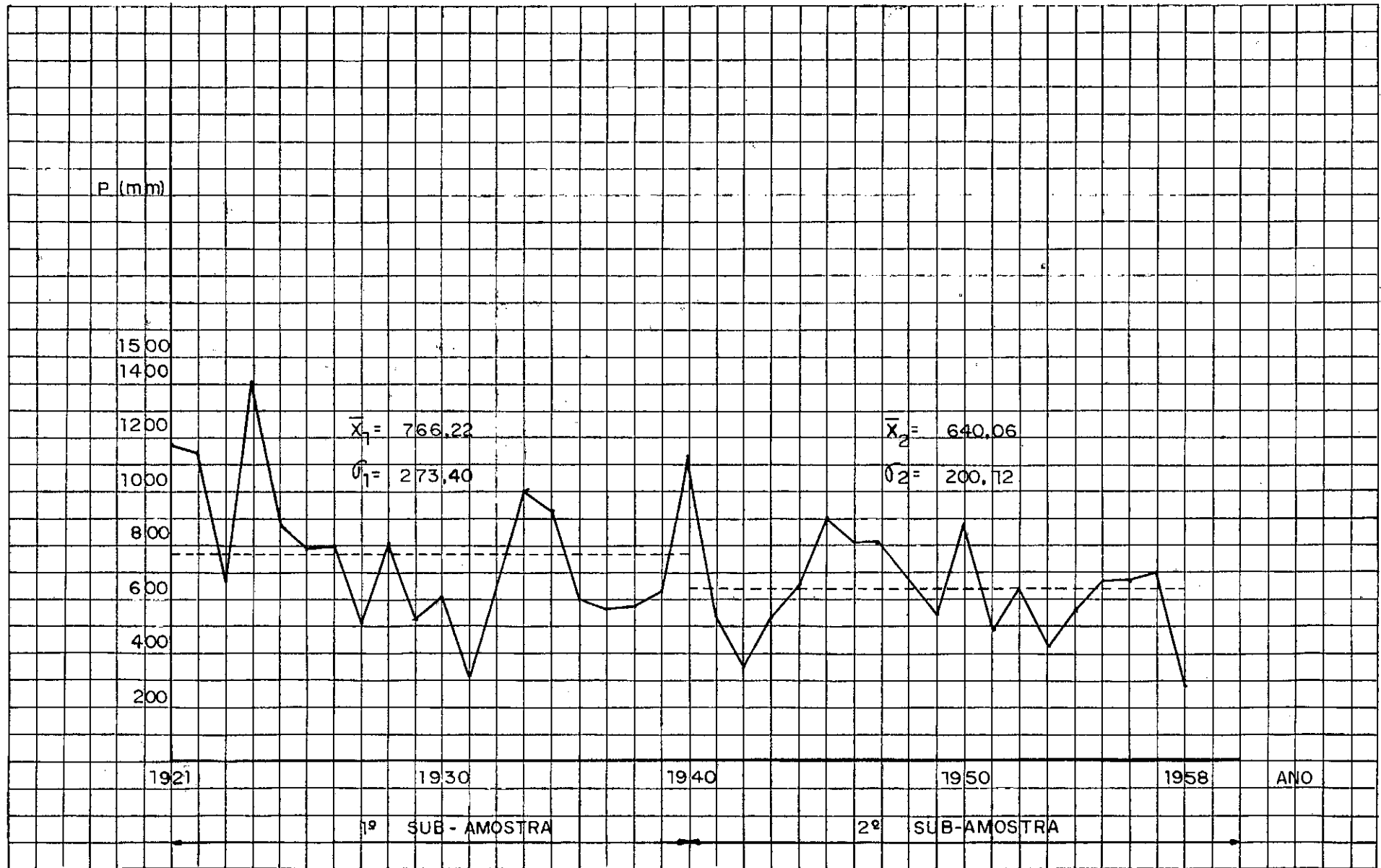


FIG. 4.8. GRÁFICO DA SÉRIE ANUAL DE PRECIPITAÇÕES MÉDIAS NA BACIA DO RIO BANABUIÚ.



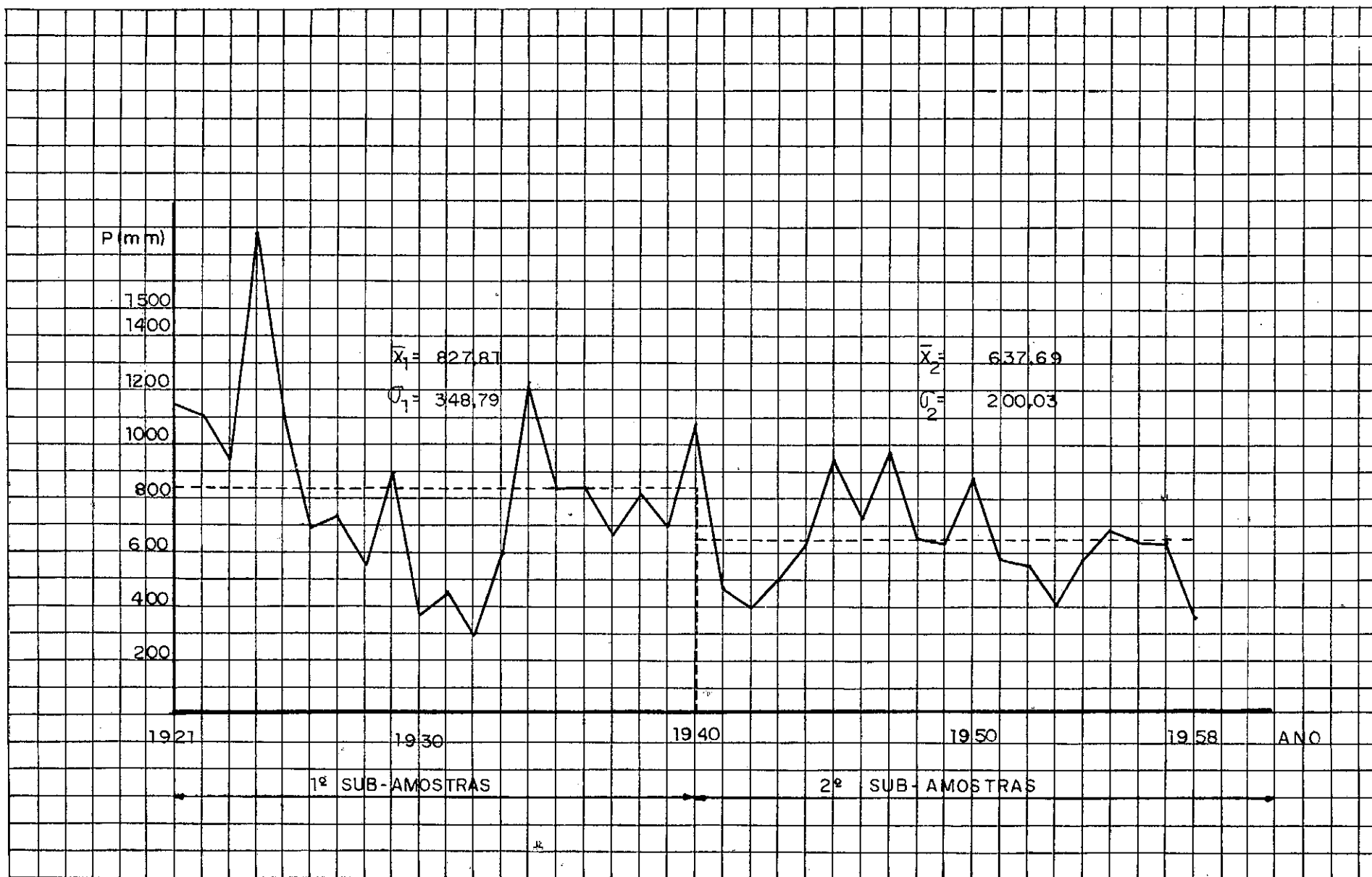


FIG. 4.9. GRÁFICO DA SÉRIE ANUAL DE PRECIPITAÇÕES MÉDIAS NA BACIA DO RIO SITIA.

ELEMENTOS PARA O TESTE	PRECIPITAÇÕES MÉDIAS NA BACIA DO RIO BANABUIU		PRECIPITAÇÕES MÉDIAS NA BACIA DO RIO SITIÁ	
	SUB-AMOSTRA 1	SUB-AMOSTRA 2	SUB-AMOSTRA 1	SUB-AMOSTRA 2
NUMERO DE OBSERVA ÇÕES (N)	19	19	19	19
MÉDIA ( $\bar{X}$ )	766,22	640,06	827,81	637,69
VARIÂNCIA ( $S^2$ )	74747,56	40048,01	121654,46	40012,00

Tab. 4.14 Parâmetros utilizados na análise de transientes para as sub-amostras das séries de precipitações médias anuais nas bacias dos rios Banabuiu e Sitiá.

PRECIPITAÇÕES MÉDIAS ANUAIS NA BACIA DO RIO BANABUIU				PRECIPITAÇÕES MÉDIAS ANUAIS NA BACIA DO RIO SITIÃ			
PARÂMETROS UTILIZADOS	ESTATÍSTICO	VALOR DOS PARÂMETROS	CONCLUSÕES	PARÂMETROS UTILIZADOS	ESTATÍSTICOS	VALOR DOS PARÂMETROS	CONCLUSÕES
Igualdade da média (distribuição t-student) com nível de significância $\alpha$ e (N1-1) + (N2-1) graus de liberdade GL	t - calc. t - crit. $\alpha$ GL	1,580 2,030 5% 36	hipótese nula aceita ou seja as médias são iguais.	Igualdade da média (distribuição t-student) com nível de significância $\alpha$ e (N1-1) e (N2-1) graus de liberdade GL	t - calc. t - crit. $\alpha$ GL <sub>1</sub> GL <sub>2</sub>	0,470 2,106 5% 18 18	hipótese nula aceita ou seja as médias são iguais
Igualdade da variância (distribuição F) com nível de significância $\alpha$ e (N1-1) e (N2-1) graus de liberdade GL	F - calc. F - crit. $\alpha$ GL <sub>1</sub> GL <sub>2</sub>	1,840 2,230 5% 18 18	hipótese nula aceita ou seja as variâncias são iguais	Igualdade da variância (distribuição F) com nível de significância $\alpha$ e (N1-1) e (N2-1) graus de liberdade GL	F - calc. F - crit. $\alpha$ GL <sub>1</sub> GL <sub>2</sub>	3,030 2,230 5% 18 18	hipótese nula rejeitada ou seja as variâncias são diferentes

Tab. 4.15 Resultados do teste de igualdade de parâmetros para as sub-amostras da séries anuais equivalentes para as bacias dos rios Banabuiu e Sitiã.

## b) Probabilidade de Ocorrência de Vazões

A determinação da probabilidade em cada mes  $J$ ,  $J = 1, 2, \dots, 12$  de que a vazão média mensal seja maior ou igual ao nível de truncamento arbitrado ( $Q_t = 0.2 \text{ m}^3/\text{S}$ ) foi estimado pela expressão (3.4) e resumida na Tabela 4.16. Como se vê, estas probabilidades somente são maiores que 0.50 nos meses de Fevereiro a Julho correspondendo exatamente a estação chuvosa.

O valor  $0.2 \text{ m}^3/\text{S}$  foi fixado como limite mínimo para o projeto, pelo fato de valores abaixo deste serem de impraticável utilização, conseqüentemente considerados nulos.

MES	PROBABILIDADE ( $P \geq 0.20 \text{ m}^3/\text{S}$ )
	RIO BANABUIU + RIO SITIÁ
JAN.	0,250
FEV.	0,772
MAR.	0,886
ABR.	0,977
MAI.	0,954
JUN.	0,931
JUL.	0,795
AG.	0,431
SET.	0,159
OUT.	0,00
NOV.	0,022
DEZ.	0,068

Tab. 4.16 Probabilidade de que em cada mes a vazão média mensal equivalente dos rios Banabuiu e Sitiá seja maior ou igual a  $0.20 \text{ m}^3/\text{S}$

## c) Dependência

Em continuidade foi estimado para cada mes  $j$ ,  $j = 1, 12$  a média, desvio padrão, variância pela equação (3.5), como também o coeficiente de assimetria e curtose, pela relação entre os momentos obtidos pela mesma equação, e corrigidos para pequenas amostras de acordo com o proposto por Yevjevich (1972a). O coeficiente de variação obteve-se pela relação direta entre o desvio padrão e a média.

Um resumo dos resultados é apresentado na Tabela 4.5 .

De acordo com o descrito na seção (3.2.1 ), os coeficientes de correlação e regressão mensais foram estimados pelas expressões (3.6 ) e (3.7 ) e resumidos na Tabela 4.17 onde os locais assinalados com um traço representam a inexistência de correlação pelo fato de não haver vazões ou serem de pequeno valor, em um ou ambos os meses, correspondendo aos meses não chuvosos.

MES	NUM.	COEF. CORRELAÇÃO	COEF: REGR: LINEAR
DEZ./JAN.	1	-	-
JAN./FEV.	2	0,60	0,68
FEV./MAR.	3	0,45	0,44
MAR./ABR.	4	0,61	0,66
ABR./MAI.	5	0,74	0,70
MAI./JUN.	6	0,54	0,50
JUN./JUL.	7	0,81	0,71
JUL./AGO.	8	0,57	0,55
AGO./SET.	9	0,58	0,46
SET./OUT.	10	-	-
OUT./NOV.	11	-	-
NOV./DEZ.	12	-	-

Tab. 4.17 Coeficiente de correlação e regressão linear mes a mes entre as vazões afluentes ao reservatório equivalente (Rios Banabuiu e Sitia).

MÊS	Obsery. nao mla	DISTRIB. NORMAL	GRAU DE LIBERDADE GL	QUI-QUADRADO		KOLMOGOROV-SMIRNOV		OBSERVAÇÕES QUANTO O AJUSTAMENTO
		DISTRIB. LOG-NORMAL		$\chi^2$ cal	$\chi^2$ crit	$\Delta$ cal	$\Delta$ crit	
JAN.	11	$\bar{X} = 9.20$	2	14.909	5.991	0.254	0.400	Não se ajusta
		$S = 11.48$						
		$\bar{X}_n = 1.51$						
		$S_n = 1.35$		2.182		0.196		bom
FEV.	34	$\bar{X} = 52.61$	3	27.059	7.815	0.282	0.225	Não se ajusta
		$S = 104.43$						
		$\bar{X}_n = 2.76$						
		$S_n = 1.53$		2.000		0.096		Muito bom
MAR.	39	$\bar{X} = 117.49$	4	38.718	9.488	0.227	0.215	Não se ajusta
		$S = 136.33$						
		$\bar{X}_n = 3.92$						
		$S_n = 1.52$		3.179		0.095		Muito bom
ABR.	43	$\bar{X} = 196.59$	5	79.605	11.070	0.227	0.205	Não se ajusta
		$S = 289.80$						
		$\bar{X}_n = 4.27$						
		$S_n = 1.65$		2.209		0.070		Muito bom
MAI.	42	$\bar{X} = 103.28$	5	49.048	11.070	0.235	0.205	Não se ajusta
		$S = 140.98$						
		$\bar{X}_n = 3.65$						
		$S_n = 1.55$		12.091		0.113		Razoável
JUN.	41	$\bar{X} = 22.57$	5	73.537	11.070	0.278	0.209	Não se ajusta
		$S = 42.78$						
		$\bar{X}_n = 2.12$						
		$S_n = 1.45$		3.293		0.065		Muito bom
JUL.	35	$\bar{X} = 3.94$	4	34.800	9.488	0.274	0.230	Não se ajusta
		$S = 5.23$						
		$\bar{X}_n = 0.59$						
		$S_n = 1.29$		8.800		0.134		bom
AGO.	19	$\bar{X} = 2.29$	2	23.368	5.991	0.230	0.300	Não se ajusta
		$S = 3.55$						
		$\bar{X}_n = 0.01$						
		$S_n = 1.26$		1.789		0.162		Muito bom
SET.	7	$\bar{X} = 0.96$	2	8.000	5.991	0.168	0.445	Não se ajusta
		$S = 1.07$						
		$\bar{X}_n = 0.48$						
		$S_n = 0.99$		0.857		0.089		Muito bom
OUT.								
NOV.								
DEZ.								

Tab. 4.18 Teste do ajustamento das vazões mensais afluentes ao reservatório equivalente (Rios Banabuiu e Sitiã) à distribuição probabilística Normal e Log-normal com nível de significância  $\alpha$  de 5%.

#### d) Distribuição de Probabilidades

Para os estudos de distribuição de probabilidade das vazões de cada mes foram utilizados, as distribuições normal e log-normal e testado o seu ajustamento com os testes do Qui-quadrado e Smirnov-Kolmogorov de acordo com o descrito no Capítulo III. Os resultados são apresentados na Tabela 4.18 considerando um nível de significância de 5%. Os traços encontrados na Tabela 4.18 são devidos as vazões dos meses de Outubro, Novembro e Dezembro serem nulas ou praticamente nulas, e não faria sentido tentar ajustá-las as distribuições de probabilidades consideradas aqui.

Pela observação dos  $\chi^2$  crítico e calculado para o ajustamento a distribuição normal, fica comprovado que as vazões equivalentes mensais em cada mes  $\bar{J}$ ,  $\bar{J} \neq 1, 12$  não se adequam a esta distribuição de probabilidade. O mesmo é verificado para o teste de Smirnov-Kolmogorov.

Ainda na Tabela 4.18 pode-se comprovar que as mesmas vazões ajustam-se muito bem a distribuição log-normal de acordo com os testes desenvolvidos. Este fato constituiu uma justificativa para as modificações realizadas no modelo de geração de séries mensais de deflúvios de Clarke (1973).

B - Resultados da Aplicação do Algoritmo dos Picos Sequenciais para as Séries Históricas e Geradas.

O algoritmo dos picos sequenciais descrito na seção 3.4.1 foi aplicado primeiramente a série de deflúvios históricos apresentada na Tabela 4.5 e posteriormente as séries geradas de acordo com a técnica de geração de séries sintéticas descrita na seção 3.2.2. Em uma primeira fase na aplicação as vazões históricas, por um processo de tentativas e erros, determinou-se uma descarga regularizada constante e uniforme correspondente ao volume útil do reservatório equivalente já definido inicialmente.

Na Tabela 4.19 apresenta-se os resultados obtidos para a série histórica, mostrando-se a descarga regularizada obtida pela aplicação do algoritmo e o período crítico para o volume do reservatório, tomando-se como volume de armazenamento inicial  $50 \times 10^4 \text{ m}^3$  a fim de que não houvesse valores negativos no princípio da aplicação. Deve-se salientar ainda que se empregou uma vazão constante como demanda em uma primeira aproximação, mas adiante uma simulação mais detalhada considerando demandas variáveis e a evaporação, será apresentada.

DESCARGA EM % DA MÉDIA ANUAL	DESCARGA REGULARIZADA EM $\text{m}^3/\text{s}$	VOLUME ÚTIL DO RESERVATÓRIO ( $\text{m}^3$ )	PERÍODO CRÍTICO (meses)	INTERVALO P.C. mes/ano-mes/ano	VOLUME ÚTIL DO RESERVATÓRIO EM UNIDADES DO VOLUME MÉDIO ANUAL
46	1776	2 158 704 114,00	82	5/1950-3/1957 (353-435)	1,76

Tab. 4.19 Resultados da aplicação do algoritmo dos Picos Sequenciais para a série histórica de vazões equivalentes dos rios Banabuiu e Sitiã.



Com o objetivo de se realizar um estudo dos riscos e da segurança de que a descarga regularizada será garantida, gerou-se trinta séries pelo modelo original de Clarke, e com o modelo modificado apresentado neste trabalho. Utilizando-se as informações da série histórica, aplicou-se a cada uma delas o algoritmo dos picos sequenciais descrito na seção 3.4.1 de forma inversa semelhante a técnica do diagrama de Rippl, considerando a descarga constante de  $17.76 \text{ m}^3/\text{s}$ . Portanto a probabilidade de que a descarga regularizada seja garantida, passou a ser a probabilidade dos volumes encontrados para as séries geradas serem iguais ou inferiores ao volume útil do reservatório e equivalente do sistema.

A análise de estrutura da série de vazões de acordo com o indicado na seção 3.2.1, e resultados vistos na seção 4.3.1, juntamente ao modelo de geração, seção 3.2.2, permitiu a obtenção das séries geradas, onde na Tabela 4.20 apresenta-se uma das séries geradas de acordo com o modelo de Clarke (1973) original. De forma similar realizado para o caso do modelo de Clarke modificado uma série gerada é apresentada na Tabela 4.21. As séries geradas para os dois processos (Clarke original e modificado), obedecem a uma mesma ordem sequencial. A função Random que gera números aleatórios com distribuição uniforme (0,1) foi utilizada, para em seguida determinar-se os números com distribuição normal. Esta função está implantada no computador Burroughs pertencente ao Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (NCE/UFRJ).

Adotou-se inicialmente em número ímpar elevado em

ANO	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	S. ANUAL
1	0.00	192.95	275.66	480.65	44.48	42.56	5.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	86.85
2	0.00	0.00	195.82	114.49	0.00	0.00	5.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.30
3	12.29	137.80	265.00	707.52	268.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	115.90
4	0.00	0.00	0.00	299.99	171.64	67.18	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	44.94
5	0.00	11.67	113.61	163.33	226.25	26.72	3.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	45.42
6	0.00	37.74	211.47	297.81	112.78	56.69	2.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	59.90
7	5.36	113.88	214.18	0.00	198.81	112.54	0.00	4.17	0.00	0.00	0.00	0.00	54.08
8	0.00	132.69	100.25	538.02	113.71	5.14	5.88	0.00	1.44	0.00	0.00	0.00	74.76
9	0.00	172.68	360.15	0.00	395.02	76.84	11.30	6.32	0.00	0.00	0.00	0.00	85.19
10	5.40	0.00	0.00	702.51	57.89	0.00	0.00	8.43	0.00	0.00	0.00	0.00	64.52
11	11.68	71.67	233.61	226.26	258.08	62.98	4.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	72.36
12	0.00	103.35	170.21	0.00	54.70	16.35	4.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.44
13	0.00	0.00	170.07	692.51	55.52	0.00	0.00	8.67	0.00	0.00	0.00	0.00	80.90
14	22.76	91.07	115.47	0.00	157.31	77.84	7.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	39.33
15	17.31	0.00	0.00	512.80	290.45	67.88	6.81	4.37	0.00	0.00	0.00	0.00	74.97
16	6.84	136.31	353.73	0.00	0.00	0.00	0.00	1.99	0.00	0.00	0.00	0.00	41.57
17	0.00	0.00	0.00	528.23	48.17	27.00	4.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.62
18	0.00	168.73	127.39	527.99	305.34	87.03	9.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	102.13
19	0.00	58.26	139.85	121.95	87.59	51.20	6.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.81
20	0.00	0.00	16.61	0.00	0.00	0.00	1.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.52
21	0.00	0.00	0.00	0.00	159.77	86.32	5.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.93
22	0.00	0.00	14.26	51.37	195.29	24.11	0.00	0.00	3.55	0.00	0.00	0.00	24.05
23	16.73	65.36	90.08	0.00	324.40	83.00	0.00	4.62	1.24	0.00	0.00	0.00	48.79
24	0.00	4.40	43.32	238.81	108.52	26.91	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.05
25	0.00	12.55	0.00	0.00	0.00	0.00	9.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.81
26	0.00	3.57	39.59	0.00	0.00	42.43	2.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.33
27	0.65	0.00	65.53	270.46	174.58	27.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	44.91
28	9.64	0.00	320.33	436.35	115.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	73.82
29	0.00	0.00	32.66	379.05	246.41	54.11	10.76	8.70	0.00	0.00	0.00	0.00	60.97
30	15.35	0.00	120.60	0.00	319.80	41.62	0.00	8.59	0.00	0.00	0.00	0.00	42.16
31	0.00	141.57	155.12	417.06	0.00	58.81	9.79	4.55	0.00	0.00	0.00	0.00	65.58
32	0.00	19.47	0.00	53.28	57.77	35.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.82
33	0.00	55.78	0.00	0.00	35.84	21.65	0.72	0.57	0.21	0.00	0.00	0.00	9.56
34	0.00	0.00	0.00	390.11	150.47	49.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	52.47
35	0.00	0.00	2.53	251.54	60.76	0.00	0.00	2.88	0.00	0.00	0.00	0.00	26.48
36	0.00	0.00	187.17	505.56	217.57	36.65	9.38	5.83	0.00	0.00	0.00	0.00	80.17
37	0.00	298.85	142.08	570.34	100.35	81.08	6.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.91
38	0.00	85.02	232.03	265.07	102.02	47.85	0.00	4.49	0.00	0.00	0.00	0.00	61.37
39	0.00	75.76	118.46	0.00	85.94	27.96	0.00	4.16	0.00	0.00	0.00	0.00	26.36
40	0.00	0.00	79.47	0.00	222.65	43.37	2.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.03
41	0.00	0.00	0.00	85.77	0.00	4.99	1.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.65
42	0.00	0.00	281.57	230.21	288.35	59.44	11.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	72.60
43	0.00	44.55	86.20	304.53	186.08	55.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	56.38
44	0.00	0.00	209.47	243.74	0.00	52.42	11.90	6.85	1.77	0.00	0.00	0.00	43.85

## DESCRIPTORES MENSIS

## DESCR. ANUAL

MED.	=	2.82	50.81	120.08	241.07	139.28	39.50	3.65	1.94	0.19	0.00	0.00	0.00	49.94
D.P.	=	5.85	70.11	107.69	229.51	107.76	30.00	3.99	2.97	0.64	0.00	0.00	0.00	27.94
VAR.	=	34.17	4916.11	11597.61	52676.09	11611.56	900.01	15.89	8.84	0.42	0.00	0.00	0.00	780.71
ASSIM.	=	2.0303	1.5162	0.5530	0.5081	0.4057	0.2536	0.7164	1.2182	4.0339	0.0000	0.0000	0.0000	0.2091
KURT.	=	6.6391	5.6716	2.6213	2.3201	2.5389	2.5824	2.4391	3.3937	21.8552	0.0000	0.0000	0.0000	2.8598
C.VAR.	=	2.0739	1.3799	0.8968	0.9520	0.7737	0.7595	1.0919	1.5358	3.4533	0.0000	0.0000	0.0000	0.5594

Tab. 4.20 - Vazões geradas pelo método de Clarke Original afluentes ao reservatório equivalente (Rio Banabuiu e Sitiã).

ANO	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	S. ANUAL
1	0.00	151.24	290.20	620.18	127.73	54.86	8.83	4.42	1.92	0.00	0.00	0.00	104.95
2	0.00	0.00	0.00	241.19	74.83	7.10	2.24	2.40	0.00	0.00	0.00	0.00	27.31
3	0.00	0.00	63.86	438.73	73.11	29.19	0.00	2.74	0.00	0.00	0.00	0.00	50.64
4	0.00	0.00	144.68	42.28	225.67	73.35	6.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.02
5	0.00	0.00	0.00	0.00	252.88	40.24	0.00	2.09	0.00	0.00	0.00	0.00	24.60
6	0.00	36.64	161.01	87.26	5.63	0.00	10.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.43
7	0.00	0.00	152.40	0.00	0.00	18.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.22
8	0.00	0.00	203.35	0.00	167.38	16.76	0.00	4.95	0.00	0.00	0.00	0.00	32.70
9	0.00	0.00	172.10	464.40	12.05	12.58	2.17	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00	55.36
10	0.00	16.95	0.00	0.00	56.04	0.00	2.27	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00	6.34
11	0.00	0.00	57.97	6.75	0.00	0.00	0.00	6.93	0.00	0.00	0.00	0.00	5.97
12	0.00	0.00	147.07	38.82	17.74	0.00	7.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.63
13	0.00	207.56	269.85	390.76	95.52	77.14	0.00	0.00	0.74	0.00	0.00	0.00	86.80
14	0.00	48.79	9.70	0.00	121.24	0.00	0.00	0.00	1.84	0.00	0.00	0.00	15.13
15	0.97	0.00	240.19	296.34	194.10	0.00	0.95	1.16	1.47	0.00	0.00	0.00	61.27
16	3.47	146.35	181.19	185.19	229.87	34.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	65.03
17	0.00	119.45	273.19	407.10	364.16	56.53	0.00	3.61	0.00	0.00	0.00	0.00	102.00
18	0.00	81.67	317.20	205.80	50.01	0.00	6.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	55.09
19	0.00	0.00	120.61	0.00	37.38	43.54	5.90	5.18	0.00	0.00	0.00	0.00	17.72
20	0.00	0.00	0.00	190.79	117.98	0.00	10.62	9.11	0.00	0.00	0.00	0.00	27.37
21	0.00	0.00	285.31	0.00	77.75	0.00	5.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.69
22	0.00	0.00	0.00	585.50	220.85	100.87	8.04	4.57	0.00	0.00	0.00	0.00	76.65
23	0.00	0.00	0.00	0.00	34.46	14.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.06
24	0.00	0.00	164.60	160.70	218.07	53.58	10.68	6.04	0.00	0.00	0.00	0.00	51.14
25	0.00	206.13	451.80	68.30	11.96	17.12	5.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	63.43
26	0.00	54.85	129.97	205.06	228.78	67.99	4.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	57.62
27	0.00	49.44	231.48	159.81	68.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.41
28	0.00	0.00	0.00	247.26	0.00	58.42	10.12	0.00	1.96	0.00	0.00	0.00	26.48
29	0.00	0.00	190.84	521.40	265.85	66.79	0.00	3.83	0.00	0.00	0.00	0.00	92.39
30	0.00	236.48	122.52	465.19	263.51	0.00	10.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	91.55
31	0.00	48.68	202.45	185.64	186.96	24.58	3.73	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	54.35
32	0.00	0.00	50.28	85.44	11.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.26
33	19.04	29.67	46.69	409.45	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	0.00	0.00	0.00	42.07
34	0.00	240.64	0.00	0.00	0.00	66.53	0.00	8.52	0.00	0.00	0.00	0.00	26.31
35	0.00	0.00	0.00	822.20	447.59	36.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	108.82
36	0.00	0.00	174.57	328.80	165.65	113.68	14.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.47
37	0.00	29.09	80.53	66.76	176.26	106.45	14.58	5.61	0.00	0.00	0.00	0.00	39.94
38	0.00	0.00	83.31	12.49	0.00	35.64	14.43	0.00	2.47	0.00	0.00	0.00	12.36
39	0.00	0.00	236.15	389.88	195.62	26.68	0.00	0.00	1.63	0.00	0.00	0.00	70.83
40	0.00	0.00	278.99	134.46	0.00	0.00	3.53	2.96	0.00	0.00	0.00	0.00	34.99
41	0.00	179.13	304.51	699.84	275.10	38.91	4.18	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00	125.22
42	16.77	0.00	103.65	101.88	28.02	0.00	1.41	2.29	0.36	0.00	0.00	0.00	21.20
43	0.00	85.96	257.36	220.27	341.29	58.78	9.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	81.13
44	0.00	0.00	0.00	26.53	147.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.52

## DESCRIÇÕES MENSIS

													DESCR. ANUAL
MED.	=	0.91	44.75	140.90	217.56	127.10	30.68	4.23	1.78	0.30	0.00	0.00	47.35
D.P.	=	3.80	73.07	114.27	219.55	115.71	32.72	4.76	2.58	0.67	0.00	0.00	31.45
VAR.	=	14.41	5339.31	13057.37	48202.53	13385.09	1070.84	22.63	6.65	0.45	0.00	0.00	988.89
ASSIP.	=	4.3653	1.6011	0.4025	0.9577	0.7212	0.8744	0.8046	1.3407	2.1002	0.0000	0.0000	0.6553
KURT.	=	22.5508	4.7128	2.8691	3.4574	3.1778	3.2232	2.7298	4.2174	6.5801	0.0000	0.0000	2.8872
C.VAR.	=	4.1507	1.6330	0.8110	1.0092	0.9104	1.0664	1.1246	1.4456	2.2331	0.0000	0.0000	0.6641

Tab. 4.21 - Vazões geradas pelo método de Clarke Modificado afluentes ao reservatório equivalente (Rio Banabuiu e Sítia).

nosso caso 10001 e incrementando de 24033 unidades, para cada série gerada. A geração deu-se da seguinte maneira:

Em primeiro lugar, obtém-se um número aleatório com distribuição uniforme e analisa-se a correspondência ou não de ocorrência de deflúvio no mês, conforme descrito na seção 3.2.2. De acordo com o resultado obtido estima-se a vazão (Clarke original) ou o logaritmo da vazão (Clarke modificado) pela aplicação das equações 3.17 para o caso de vazão independente e 3.18 para o caso contrário, correspondendo a dependência linear autorregressiva de ordem um.

Como os valores gerados para o caso do modelo de Clarke modificado correspondem as séries de logaritmos neperianos, faz-se necessário transformá-los através da aplicação da função inversa do logaritmo, obtendo-se, as séries de vazões geradas.

Para as vazões geradas por ambos os modelos aplicou-se o algoritmo da seção 3.4.1 considerando a descarga regularizada para a série histórica, obtido por tentativas para o volume útil do reservatório, encontrando, assim para cada série volumes e períodos críticos distintos conforme apresenta-se nas Tabelas 4.22 e 4.23. Observe-se que, os resultados obtidos pelo método de Clarke modificado aqui desenvolvido foram mais satisfatórios que o método de Clarke original, consequentemente passaram a ser utilizados no restante do trabalho. Vale salientar ainda que, com o modelo original não se obtém nenhuma série com período crítico, e volume de regularização maior de que o da série histórica.

Finalmente, com os diferentes volumes encontrados para aquele nível de regularização a partir das séries geradas fez-se uma análise de frequência, para a estimação da probabi-

SÉRIE GERADA	VOLUME DO RESERVATÓRIO ( m <sup>3</sup> )	NÚMERO DE MESES DO PERÍODO CRÍTICO	INTERVALO DO PERÍODO CRÍTICO (mes - mes)
1	884.237.326.36	20	29 - 49
2	624.725.552.50	21	436 - 457
3	497.905.117.13	11	506 - 517
4	891.425.252.25	21	197 - 218
5	931.091.559.88	23	375 - 398
6	732.543.255.50	32	125 - 157
7	751.116.748.50	20	234 - 254
8	532.151.065.13	20	138 - 158
9	925.304.321.63	21	209 - 230
10	873.169.483.25	45	53 - 98
11	799.807.817.50	22	232 - 254
12	744.281.376.61	37	0 - 37
13	1.008.819.372.00	34	280 - 314
14	837.730.780.00	20	150 - 170
15	810.432.680.25	20	366 - 386
16	1.197.658.244.63	32	282 - 314
17	566.142.873.63	20	270 - 290
18	862.215.103.00	22	51 - 73
19	902.149.657.25	32	233 - 265
20	619.336.358.63	20	342 - 362
21	898.436.637.13	21	125 - 146
22	818.929.853.38	21	329 - 350
23	855.581.546.63	23	377 - 400
24	723.848.773.13	20	210 - 230
25	1.116.559.999.02	34	100 - 134
26	726.859.081.88	22	281 - 303
27	686.422.237.25	20	53 - 73
28	639.376.673.00	19	426 - 455
29	632.514.800.00	25	0 - 25
30	701.698.379.86	20	18 - 38
SÉRIE HISTÓRICA	2.185.704.114.00	82	353 - 435

Tab. 4.22 Resultados da aplicação do algoritmo dos picos sequenciais para as séries geradas e histórica afluentes ao reservatório equivalente (Rios Banabuiu e Sitiã) pelo método de Clarke Original.

SÉRIE GERADA	VOLUME DO RESERVATÓRIO ( m <sup>3</sup> )	NÚMERO DE MESES DO PERÍODO CRÍTICO	INTERVALO DO PERÍODO CRÍTICO (mes - mes)
1	1.756.135.886.13	68	293 - 361
2	2.110.886.504.75	57	401 - 458
3	1.756.651.312.20	45	112 - 157
4	1.796.173.680.44	68	41 - 109
5	1.291.427.679.88	45	341 - 386
6	1.966.791.009.09	80	53 - 133
7	1.517.510.253.00	57	53 - 110
8	2.804.233.914.00	187	258 - 455
9	1.244.855.573.00	31	90 - 121
10	1.745.781.152.13	189	329 - 518
11	1.516.602.418.88	56	257 - 313
12	2.646.292.921.56	104	19 - 123
13	1.546.764.834.88	58	341 - 339
14	1.604.725.374.38	56	341 - 397
15	1.906.157.181.05	104	54 - 158
16	1.888.301.646.72	81	53 - 134
17	1.418.977.939.25	57	318 - 375
18	2.616.565.206.58	93	42 - 135
19	2.206.018.669.38	68	246 - 314
20	1.642.009.075.06	44	184 - 228
21	1.151.050.368.75	35	52 - 87
22	2.055.268.342.88	79	414 - 493
23	2.289.304.351.89	94	17 - 111
24	1.599.456.133.88	92	137 - 229
25	1.431.856.781.09	57	137 - 194
26	1.200.326.727.00	46	400 - 446
27	1.983.801.651.75	128	65 - 193
28	1.397.558.686.89	33	76 - 109
29	1.072.801.744.88	57	221 - 278
30	2.829.568.440.38	189	293 - 482
SÉRIE HISTÓRICA	2.158.704.114.00	82	353 - 435

Tab. 4.23 Resultados da aplicação do algoritmo dos picos sequenciais para as séries geradas e histórica afluentes ao reservatório equivalente (Rios Banabuiu e Sitiã) pelo método de Clarke Modificado.

lidade do volume útil do reservatório do sistema (volume resultante da adição dos reservatórios Arrojado Lisboa, e Pedras Brancas) garantir aquela vazão regularizada, onde na Tabela 4.24 apresenta-se estes valores para as dez séries mais críticas obedecendo a ordem decrescente do volume do reservatório correspondente. Pode-se observar, que o volume útil considerado teria uma probabilidade aproximadamente de 20% de não satisfazer a demanda total considerada, seja  $17.76 \text{ m}^3/\text{s}$ , incluindo perdas e evaporação.

#### 4.3.2 Estimação das demandas

Em um primeiro estágio de estimação das demandas dos cultivos do projeto foi identificado a evapotranspiração real para cada cultivo pelo método desenvolvido por Blaney-Cridlle descrito na seção (3.5) utilizando a equação (3.27) e também pelo método de Blaney-Cridlle modificado proposto pela FAO (1977) conforme resultados que se seguem. Na Tabela 4.25 vê-se os dados climatológicos da estação de Quixeramobim, bastante representativa da região, utilizados no método de Blaney-Cridlle, e na Tabela 4.26 os dados relativos a mesma estação para o caso do método modificado, e, finalmente na Tabela 4.27 os resultados obtidos para os dois métodos, na qual a maioria dos valores estão arredondados para facilidade de manipulação. Os coeficientes de cultivos  $K_c$  adotados conforme Tabela 4.27 foram os recomendados por Daker (1970) e FAO (1977) adaptados para a região do Nordeste do Brasil.

O segundo estágio consistiu em identificar as precipitações médias efetivas no vale, para cada cultivo, onde foi utilizado a metodologia desenvolvida pela FAO (1977) com resultados apresentados a seguir. Na Tabela 4.28 tem-se os e-

SÉRIE GERADA	VOLUME DO RESERVATÓRIO	PERÍODO CRÍTICO	INTERVALO DO P.C.	PROBABILIDADE
30	2.829.568.440.38	189	293 - 482	0.033
8	2.804.233.914.00	187	258 - 455	0.066
12	2.646.292.921.55	104	19 - 123	0.099
18	2.616.565.206.58	93	42 - 135	0.132
23	2.289.304.351.89	94	17 - 111	0.165
19	2.206.018.669.38	68	246 - 314	0.198
2	2.110.886.504.75	57	401 - 458	0.231
22	2.055.268.342.88	79	414 - 493	0.264
27	1.983.801.651.75	128	65 - 193	0.297
6	1.966.791.009.09	80	53 - 133	0.330

Tab. 4.24 Volumes do reservatório em ordem decrescente necessários a satisfação da vazão regularizada de  $17.76 \text{ m}^3/\text{s}$  para as dez séries geradas mais críticas pelo método de Clarke Modificado.



MÊS	TEMPERATURA MÉDIA MENSAL (T)	PERCENTAGEM DE INSO- LAÇÃO DO MÊS EM RE- LAÇÃO AO ANO (P)	$p(8.12+0.457\bar{T})$
JAN.	28.60	8.70	184.35
FEV.	27.80	7.78	162.01
MAR.	27.10	8.51	174.49
ABR.	26.80	8.14	165.79
MAI.	26.50	8.31	168.11
JUN.	26.20	8.01	160.94
JUL.	26.40	8.30	167.53
AGO.	27.30	8.6	172.18
SET.	28.00	8.19	171.30
OUT.	28.40	8.57	180.81
NOV.	28.50	8.40	177.61
DEZ.	28.80	8.72	185.57

Tab. 4.25 Dados utilizados na determinação da evapotranspi-  
ração potencial para os cultivos pelo método de Blaney-Cridlle  
original para cada mês. (Estação climatológica de Quixeramobim).

MÊS	TEMPERATURA MÉDIA T (°C)	PORCENTAGEM DE INSOLAÇÃO ANUAL P (DIA)	$p(8.12+0.457\bar{T})$	RADIAÇÃO n/N	VEL. MÉDIA DO VENTO U (m/s)	UMIDADE RELA- TIVA MÉDIA R <sub>h</sub>	UMIDADE RELA- TIVA MÍNIMA R <sub>h min</sub>	EVAPOTRANSPIRA- ÇÃO DE REFERÊN- CIA E T <sub>0</sub> (mm/d)	EVAPOTRANSPIRA- ÇÃO DE REFERÊN- CIA E T <sub>0</sub> (mm/mês)
JAN.	28.60	0.28	5.93		3.60	58.80	46.80	6.50	200
FEV.	27.80	0.28	5.83		2.70	64.60	52.60	4.80	135
MAR.	27.10	0.28	5.74		2.10	70.10	58.00	4.70	150
ABR.	26.80	0.27	5.49		2.10	72.70	57.00	4.50	140
MAI.	26.50	0.27	5.46		2.10	71.70	58.20	4.50	140
JUN.	26.20	0.27	5.42		2.30	67.40	55.40	4.50	140
JUL.	26.40	0.27	5.45		2.50	61.00	49.00	6.00	190
AGO.	27.30	0.27	5.56		3.50	55.90	43.90	6.10	190
SET.	28.00	0.27	5.64		4.10	54.50	35.00	6.20	190
OUT.	28.40	0.28	5.90		4.70	53.50	35.00	6.50	200
NOV.	28.50	0.28	5.92		4.50	54.50	42.50	6.60	200
DEZ.	28.80	0.28	5.95		4.30	55.30	43.50	6.60	210

Tab. 4.26 Dados utilizados na determinação da evapotranspiração potencial para os cultivos, pelo método de Blaney-Cridlle Modificado para cada mês.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL PARA OS CULTIVOS (mm/mês)																									
CULTIVO	COEF. DE CULTIVO ( $K_c$ )	JAN.		FEV.		MAR.		ABR.		MAI.		JUN.		JUL.		AGO.		SET.		OUT.		NOV.		DEZ.	
	USO CONSUNTIVO (U)	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
ALGODÃO	$K_c$													0.85		0.85		0.85		0.85					
	U													150	165	150	165	150	165	160	170				
ARROZ I	$K_c$	1.20		1.20		1.20		1.20																	
	U	220	240	195	165	210	180	200	170																
ARROZ VII	$K_c$													1.20		1.20		1.20		1.20					
	U													210	230	210	230	210	230	220	240				
BANANA	$K_c$			0.90		0.90		0.90		0.90		0.90		0.90		0.90		0.90		0.90		0.90		0.90	
	U	150	125	160	140	150	130	150	130	150	130	150	130	150	175	160	175	150	175	165	180	160	180	170	190
CAPIM AA	$K_c$	0.85		0.85		0.85		0.85		0.85		0.85		0.85		0.85		0.85		0.85		0.85		0.85	
	U	160	200	140	115	150	130	145	120	145	120	140	120	150	165	150	165	150	165	155	170	155	170	160	180
CAPIM II	$K_c$			0.85		0.85		0.85		0.85		0.85		0.85		0.85		0.85		0.85		0.85		0.85	
	U			140	115	150	130	145	120	145	120	140	120	150	165	150	165	150	165	155	170	155	170	160	180
FEIJÃO	$K_c$					0.70		0.70		0.70															
	U					125	110	120	100	120	100														
LARANJA	$K_c$	0.70		0.70		0.70		0.70		0.70		0.70		0.70		0.70		0.70		0.70		0.70		0.70	
	U	130	140	115	95	125	110	120	100	120	100	115	100	120	135	120	135	120	135	130	140	125	140	130	150
MILHO	$K_c$	0.80		0.80		0.80		0.80																	
	U	150	160	130	110	140	120	135	115																
TOMATE	$K_c$													1.00		1.00		1.00							
	U													175	190	175	190	175	190						
A - Calculado por Blaney-Cridlle Original															B - Calculado por Blaney-Cridlle Modificado										

Tab. 4.27 Evapotranspiração potencial para os cultivos pelo método de Blaney-Cridlle Original e Modificado

lementos utilizados na estimação dos coeficientes de armazenamento, onde foi considerado em toda a região o solo com textura média, embora possa haver uma discretização quanto aos vários tipos de textura se tivermos informações satisfatórias quanto a isto.

Com os valores das precipitações médias mensais, e vapotranspiração real de cada cultivo na região do projeto, e dos coeficientes de armazenamento do solo, determinou-se as precipitações efetivas conforme apresentado na Tabela 4.29. Finalmente a água necessária a ser complementada por irrigação em cada período do ciclo anual de cada cultivo constituindo as demandas de cultivo, foi determinada pelo uso da expressão (3.28) para ambos os métodos, conforme apresentado na Tabela (4.30).

Com estes resultados, pode-se observar que em alguns casos ocorre divergências acentuadas entre os três valores obtidos, que podem ser justificados pela subjetividade na escolha dos parâmetros ou mesmo da precisão e adequabilidade de um método sobre o outro. Daí conclui-se que o uso de métodos, fórmulas e premissas na estimação da água necessária a satisfação dos cultivos podem trazer consigo uma variação dos resultados e podem causar insucessos na projeção dos sistemas de irrigação.

Neste trabalho estimou-se a necessidade de água para os cultivos pela aplicação da metodologia de Blaney-Cridlle original e Modificado optando-se pela utilização do método modificado na simulação do sistema.

CULTIVO	PROF. MÉDIA DA RAIZ (d) m.	PERCENTAGEM	ARMAZENAMENTO DO SOLO TEXTURA MÉDIA ( $S_a$ )	ARMAZENAMENTO EFETIVO DO SOLO ( $S_a \cdot P$ ) d	COEF. DE ARMAZENAMENTO
		DE ÁGUA DISPO- NÍVEL DO SOLO (P)			
ALGODÃO	1,00	0,50	140	70,00	1,05
ARROZ I	1,00	0,60	140	84,00	1,05
ARROZ VII	1,00	0,60	140	84,00	1,05
BANANA	1,20	0,50	140	85,00	1,05
CAPIM	0,75	0,50	140	52,50	1,05
CAPIM AA	0,75	0,50	140	52,50	1,05
FEIJÃO	0,60	0,30	140	25,20	1,05
LARANJA	1,50	0,50	140	105,00	1,05
MILHO	1,20	0,30	140	50,40	1,05
TOMATE	0,60	0,40	140	33,60	1,05

Tab. 4.28 Estimação dos coeficientes de armazenamento para determinação da precipitação efetiva, onde os diversos parâmetros foram retirados do relatório da FAO (1977).

CULTIVO	MET.	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.
ALGODÃO	O							22	-	-	-		
	M							23	-	-	-		
ARROZ I	O	63	89	152	136								
	M	68	84	141	126								
ARROZ VII	O							26	-	-	-		
	M							29	-	-	-		
BANANA	O	54	78	136	120	84	44	22	-	-	-	-	21
	M	52	76	126	115	78	42	24	-	-	-	-	21
CAPIM AA	O	56	76	133	120	81	40	22	-	-	-	-	17
	M	57	69	126	115	78	42	23	-	-	-	-	19
CAPIM II	O		76	133	120	81	40	22	-	-	-	-	17
	M		69	126	115	78	42	23	-	-	-	-	19
FEIJÃO	O			126	112	77							
	M			78	84	73							
LARANJA	O	51	74	126	115	76	40	21	-	-	-	-	17
	M	52	73	78	84	73	39	19	-	-	-	-	19
MILHO	O	52	78	131	120								
	M	54	73	105	110								
TOMATE	O							24	-	-			
	M							25	-	-			
O - Calculado por Blaney-Cridlle Original M-Calculado por Blaney-Cridlle Modificado													

Tab. 4.29 Precipitações efetivas em mm obtidas do posto pluviométrico da estação Clima  
tológica de Quixeramobim-Ce no período de 1911 a 1942, com evapotranspiração potencial deter-  
minada pelo método de Blaney-Cridlle Original e Modificado [usando tab. 34, FAO (1977)].

CULTIVO	MET.	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.
ALGODÃO	O							130	150	150	160		
	M							145	165	165	170		
ARROZ I	O	160	110	60	65								
	M	175	85	40	45								
ARROZ VII	O							185	210	210	210		
	M							200	230	230	230		
BANANA	O	120	75	25	30	70	110	130	160	150	165	160	150
	M	75	65	5	15	55	90	155	175	175	180	180	190
CAPIM AA	O	105	65	20	25	65	100	130	150	150	155	155	145
	M	145	50	5	5	45	80	145	165	165	170	179	180
CAPIM II	O		65	20	25	65	100	130	150	150	155	155	145
	M		50	5	5	45	80	145	165	165	170	170	180
FEIJÃO	O			-	10	45							
	M			35	20	30							
LARANJA	O	80	45	-	10	45	75	100	120	120	130	125	115
	M	90	25	35	20	30	65	120	135	135	140	140	150
MILHO	O	100	55	10	15								
	M	110	40	15	5								
TOMATE	O							155	175	175			
	M							130	190	190			
O - CALCULADO por Blaney-Cridlle Original    M- Calculado por Blaney-Cridlle Modificado													

Tab. 4.30 Água a ser complementada por irrigação dado em lâmina d'água (mm) para cada cultivo em cada mes.

#### 4.3.3 - Simulação do Sistema de Irrigação e da Operação do Reservatório

Os estudos, tendo em vista as relações entre o sistema de irrigação e o reservatório, foram desenvolvidos em duas fases: simulação do sistema de irrigação, e simulação da operação do reservatório.

##### 4.3.3.1 - Simulação do Sistema de Irrigação

a) *Informações básicas* - Para este estudo foi aplicado o modelo descrito na seção 3.6. Deve-se ressaltar que o modelo tem sido desenvolvido para aplicação a nível de parcelas porém neste trabalho na carência de uma distribuição detalhada de toda a rede de distribuição e dos cultivos de cada sub-área, foi decidido aplicá-lo ao caso das áreas agregadas do projeto.

De acordo com as informações obtidas do projeto hidroagrícola do vale do Banabuiu, GEIDA (1970), e do Plano de Exploração do D.N.O.C.S. (1977) formulou-se o aproveitamento da área do distrito de 1626 unidades agrícolas com área média de 5,1ha, correspondendo a uma soma de 8300ha, onde 100ha são destinados a pecuária, portanto, deduzidos do total. O planejamento agrícola de início, foi baseado em quatro esquemas culturais considerando-se o tipo de solo com mesmas características e as áreas base dos cultivos fixadas seguindo-se as indicações das fontes de informações indicadas, e deverão sofrer modificações de acordo com limites estabelecidos na simulação visando unicamente a maximização dos benefícios.



Na Tabela 4.31 tem-se estas áreas cultivadas, base expressas em porcentagem da área dos setores e, as áreas dos se tôres em relação ao distrito. Deve-se ressaltar que em certas áreas se desenvolvem dois cultivos distintos por ano, para um melhor aproveitamento das mesmas. Na Tabela 4.32 tem-se também os limites máximos e mínimos que estas áreas cultivadas po derão ter expressas em porcentagem setores, que fazem parte e mais ainda a fração pela qual estas áreas, poderão ser incrementadas dentro daqueles limites e frações. Para o nosso estudo foram fixados puramente por critério subjetivas, mas poderão ser definidos de acordo com uma política de implantação do sistema visando uma produção a atender ao consumo, a comercialização local, e regional, ou mesmo a restringões quanto ao suprimento que em nosso caso não foi possível obtê-los das fontes consultadas. A simulação consecutivamente é realizada otimizando se estas áreas a serem cultivadas conforme a fração de lucro mínimo fixada e dentro dos limites já referidos. Na apresentação das tabelas a seguir regiões e setores têm o mesmo significado conforme já referido anteriormente.

ESQUEMAS DE CULTURAS OU REGIÕES	ÁREA REAL CORRESPONDENTE A CADA REGIÃO		USO DO SOLO COMO PORCENTAGEM DA ÁREA DE CADA REGIÃO (%)									
	EM PORCEN- TAGEM DO DISTRITO (%)	EM (HA)	ALGODÃO	ARROZ I	ARROZ II	BANANA	CAPIM AA	CAPIM II	FEIJÃO	LARANJA	MILHO	TOMATE
1	50,5	4143,00	8,5	40	40	2	8,5	8,5	22	2	8,5	22
2	20,9	1720,00	14,5	-	-	6	11	11	37	6	14,5	37
3	19,7	1622,00	4	35	35	-	30,5	30,5	-	-	-	-
4	8,9	715,00	95	95	-	-	2,5	2,5	-	-	-	-

Tab. 4.31 Esquemas culturais base utilizados na formulação do sistema de irrigação

CULTIVO	REGIÃO 1			REGIÃO 2			REGIÃO 3			REGIÃO 4		
	ÁREA BASE	LIM. SUP.	LIM. INF.	ÁREA BASE	LIM. SUP.	LIM. INF.	ÁREA BASE	LIM. SUP.	LIM. INF.	ÁREA BASE	LIM. SUP.	LIM. INF.
ALGODÃO	352,0	0,070	0,050	250,0	0,150	0,090	65,0	0,040	0,030	-	-	-
ARROZ I	1657,0	0,030	0,200	-	-	-	567,0	0,350	0,200	679,0	0,500	0,400
ARROZ II	1657,0	0,030	0,200	-	-	-	567,0	0,350	0,200	679,0	0,500	0,400
BANANA	83,0	0,020	0,010	103,0	0,060	0,040	-	-	-	-	-	-
CAPIM AA	352,0	0,070	0,050	190,0	0,100	0,070	495,0	0,250	0,200	18,0	0,025	0,010
CAPIM II	352,0	0,070	0,050	190,0	0,100	0,070	495,0	0,250	0,200	18,0	0,025	0,010
FEIJÃO	912,0	0,250	0,130	634,0	0,350	0,200	-	-	-	-	-	-
LARANJA	83,0	0,020	0,010	103,0	0,050	0,040	-	-	-	-	-	-
MILHO	352,0	0,070	0,050	250,0	0,150	0,090	-	-	-	-	-	-
TOMATE	912,0	0,250	0,130	634,0	0,350	0,200	-	-	-	-	-	-
ÁREA TOTAL CULTIVADA	4143,0			1720,0			1622,0			715,0		
ÁREA TOTAL CULTIVADA CONSIDERANDO AS ROTAÇÕES	6712,0			2354,0			2189,0			1394,0		
F R A Ç Ã O P E L O Q U A L O C U L T I V O É I N C R E M E N T A D O - 0,010												
F R A Ç Ã O P E L O Q U A L O L U C R O D E V E S E R I N C R E M E N T A D O - 0,005												

Tab. 4.32 Áreas bases, e limites máximos e mínimos, frações incrementais de áreas e de lucros fixados para o sistema de irrigação.

Os requerimentos de água necessários aos cultivos em cada período de irrigação aqui utilizados são aqueles determinados pelo método de Blaney-Cridlle modificado FAO (1977) conforme apresentado na Tabela 4.30.

O suprimento hídrico considerado disponível ao sistema na simulação para o ciclo de um ano, corresponde ao volume anual médio regularizado pela vazão de  $17,76 \text{ m}^3/\text{S}$  mais o volume de precipitação e menos as perdas ocorridas por evaporação na superfície correspondente a 80% do volume máximo do reservatório estimados no mesmo período, apresentado na Tabela 4.33. A precipitação média anual aqui considerada sobre o espelho do reservatório foi a média estimada na bacia do rio Banabuiu por ser de menor valor portanto a favor da segurança, e obtido pelo método de Thiessen conforme apresentado na Tabela 4.13. As perdas por vazamento e infiltração ocorridas na operação do reservatório não serão computadas por insuficiência de informações portanto aqui atribuídas como nulas. Deve-se salientar também que não se utilizou qualquer fonte de suprimento adicional.

Quanto ao suprimento hídrico disponível a cada setor foi adotado o critério de proporcionalidade com as suas áreas cultivadas considerando-se as diversas rotações, conforme apresentado na Tabela 4.34, embora não seja este o mais racional. A adoção de um outro critério exigiria detalhes mais profundos acerca da política de implantação do projeto, não disponível.

VAZÃO REGU- LARIZADA (m <sup>3</sup> /S)	VOLUME DE REGULARIZA- ÇÃO (m <sup>3</sup> )	SUPERFÍCIE DO RESERVATÓRIO CORRESPONDENTE A 80% DO VOLUME MÁXIMO (ha)	LÂMINA D'AGUA MÉDIA EVAPORA- DA NO ANO (mm)	LÂMINA D'AGUA MÉDIA PRECÍPI- TADA NO ANO (mm)	VOLUME EVAPORADO NO ANO (m <sup>3</sup> )	VOLUME DE PRE- CIPITAÇÃO NO ANO (m <sup>3</sup> )	VOLUME DISPONÍVEL NO ANO (m <sup>3</sup> )
17,76	560,00 × 10 <sup>6</sup>	17,625	2000	700	352 × 10 <sup>6</sup>	123 × 10 <sup>6</sup>	331 × 10 <sup>6</sup>

Tab. 4.33 Elementos utilizados numa estimativa para a determinação do suprimento hídrico disponível na simulação do sistema de irrigação.

Por falta de maiores informações acerca das perdas na produção dos cultivos, se não forem irrigados na época que se faz necessário, utilizou-se coeficientes baseados em informações acerca do ciclo vegetativo de cada cultivo, coletados nos trabalhos de Daker (1970) e Israelsen (1973), e também considerando-se uma proporcionalidade da água necessária neste período com relação as necessidades para o ciclo, como se pode ver na Tabela 4.35.

Quanto as eficiências aqui consideradas, adotou-se também os valores médios para cada caso apresentado na literatura, por carência de dados precisos relativo ao projeto.

- Eficiência de condução - 0,80 ;
- Eficiência de distribuição - 0,80 ;
- Eficiência de aplicação - 0,60 ;

e como eficiência de projeto o produto das três eficiências ou seja aproximadamente 0,40.

REGIÃO	ÁREA REAL (ha)	ÁREA CULTIVADA CONSIDERANDO AS ROTAÇÕES (ha)	SUPRIMENTO DISPONÍVEL (m <sup>3</sup> )
1	4143,00	6712,00	176 × 10 <sup>6</sup>
2	1720,00	2354,00	63 × 10 <sup>6</sup>
3	1622,00	2189,00	56 × 10 <sup>6</sup>
4	715,00	1394,00	36 × 10 <sup>6</sup>
DISTRITO	8200,00	12649,00	331 × 10 <sup>6</sup>

Tab. 4.34 Suprimento hídrico disponível a cada região e distrito durante o ciclo de irrigação.

A produção, custos, e preços de mercado para cada cultivo por unidade de área, foram retirados do plano de exploração do D.N.O.C.S. (1977) conforme apresentado na Tabela 4.36, com exceção dos dois tipos de capim aos quais foram atribuídos preços de mercado diferentes dos constantes no plano, pelo fato de não ter sido considerado no plano de exploração o seu valor real, portanto, não sendo viável sobre o ponto de vista econômico o seu desenvolvimento. Para alguns cultivos como o capim, e milho adotou-se aproximadamente 10% dos custos de produção como os custos pós-colheita.

Para um melhor aproveitamento do distrito de irrigação implantou-se alternadamente duas culturas anuais nas áreas dos setores que mantinham cultivos desenvolvidos em épocas diferentes, constituindo as rotações. Entre estes podemos citar:

- Arroz I com arroz VII;
- Feijão III com tomate VII ; e os demais cultivos permanentemente.

Atribuiu-se prioridades a determinados cultivos, no caso em que as disponibilidades de água tornassem-se insuficientes obedecendo a ordem em que se segue:

Algodão VII, arroz I, arroz VII, banana AA, capim II, feijão III, laranja, milho I, tomate VII.

A seguir apresenta-se um resumo dos elementos básicos relativos ao sistema de irrigação utilizados no modelo:

Área do distrito de irrigação

- 8200 ha

CULTIVO	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.
ALGODÃO VII							0,22	0,25	0,25	0,22		
ARROZ I	0,40	0,26	0,17	0,17								
ARROZ VII							0,22	0,26	0,26	0,26		
BANANA AA	0,08	0,06	0,03	0,03	0,06	0,08	0,10	0,11	0,11	0,12	0,11	0,11
CAPIM AA	0,08	0,05	0,02	0,02	0,05	0,08	0,10	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
CAPIM II		0,05	0,02	0,02	0,06	0,09	0,11	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
FEIJÃO III					1,00							
LARANJA	0,08	0,03			0,03	0,08	0,10	0,14	0,14	0,14	0,14	0,12
MILHO I	0,50	0,32	0,08	0,10								
TOMATE VII							1,00					

Tab. 4.35 Perdas na produção dos Cultivos se não irrigados no período, indicadas em porcentagem da produção total.

CULTIVO	CUSTOS ANTES DA COLHEITA (Cr\$ 1ha)	CUSTOS APÓS COLHEITA (Cr\$ 1ha)	RENDIMENTO (Cr\$ 1ha)	PRODUÇÃO TON/ ha	PREÇO DE VENDA Cr\$ 1 Ton
ALGODÃO VII	3824,00	420,00	12000,00	1,50	8000,00
ARROZ I	4594,00	2667,00	9450,00	3,00	3150,00
ARROZ VII	4685,0	2667,00	9450,00	3,00	3150,00
BANANA AA	5803,00	770,00	22000,00	40,00	550,00
CAPIM AA	1940,00	200,00	3000,00	120,00	25,00
CAPIM II	3612,00	350,00	5000,00	90,00	55,55
FEIJÃO III	2107,00	316,00	4800,00	0,80	6000,00
LARANJA	2612,00	1071,00	30600,00	20,00	1530,00
MILHO I	1785,00	200,00	2640,00	2,20	1200,00
TOMATE VII	8212,00	525,00	17500,00	25,00	700,00

Tab. 4.36 Resumo dos custos, rendimentos e produções dos Cultivos do sistema.



Número de setores do distrito ou regiões	- 10
Número de cultivos desenvolvidos	- 10
Número de explorações por cultivo	- 4
Número de períodos de tempo para cada ciclo de irrigação	- 12 meses
Suprimento hídrico disponível para o ciclo	- $331 \times 10^6 \text{ m}^3$
Tipo de regra de distribuição de água	-
Demanda; demanda sujeito a cultivos prioritários.	

De acordo com os elementos apresentados, e suficientemente esclarecidos, desenvolveu-se a simulação do sistema de irrigação obtendo-se assim as respostas, sobre os aspectos de maior interesse, e posteriormente interpretadas e comentadas. Nas Tabelas 4.37 e 4.38 tem-se uma disposição dos dados de entrada relativos ao sistema e dos cultivos e áreas cultivadas base, os suprimentos disponíveis para cada setor em porcentagem do total para o ciclo, e também em  $\text{m}^3$ , impressos como saída do modelo de computação digital.

#### b) Resultados da Aplicação do Modelo

Com o desenvolvimento da aplicação do modelo, nas Tabelas 4.39 a 4.42 apresenta-se uma síntese geral das respostas de cada setor, onde são registradas as áreas dos cultivos otimizadas depois de um processo de 190 iterações juntamente com as disponibilidades de água remanescente em grande quantidade, os consumos de água por cultivo, por período, e total em  $\text{m}^3$ , e os custos de produção paralelamente aos lucros líquidos em cruzeiros e, finalmente a produção em toneladas. Nota-se nestas Tabelas a diferença das áreas em relação aos valores ba-

NÚMERO DE REGIÕES = 4 : NÚMERO DE CULTIVOS = 10 : NÚMERO DE EXPLOTAÇÕES POR CULTIVO = 4 : NÚMERO DE PERÍODOS DE IRRIGAÇÃO = 12  
SUPRIMENTO HÍDRICO PARA O CICLO DE IRRIGAÇÃO = 331000000.00 (M3) : TIPO DE DISTRIBUIÇÃO = DEM. : DEM. SUJ. C.F. = 15

## OS CULTIVOS SÃO-----

ALGOD. VII TON. REND. BRUTO = 12000.00 CUST. ANTES COLH. = 3324.00 CUSTO COLH. = 420.00 PRODUÇÃO = 1.50 TON.  
ÁGUA NECESSÁRIA POR PERÍODO (M3/HA) 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1450.0 1650.0 1650.0 1700.0 0.0 0.0  
PERDAS SE NÃO IRRIGADOS (%) 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.22 0.25 0.25 0.22 0.00 0.00

ARROZ I TON. REND. BRUTO = 9450.00 CUST. ANTES COLH. = 4594.00 CUSTO COLH. = 2667.00 PRODUÇÃO = 3.00 TON.  
ÁGUA NECESSÁRIA POR PERÍODO (M3/HA) 1750.0 850.0 400.0 450.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0  
PERDAS SE NÃO IRRIGADOS (%) 0.40 0.26 0.17 0.17 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

ARROZ VII TON. REND. BRUTO = 9450.00 CUST. ANTES COLH. = 4685.00 CUSTO COLH. = 2667.00 PRODUÇÃO = 3.00 TON.  
ÁGUA NECESSÁRIA POR PERÍODO (M3/HA) 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 2000.0 2300.0 2300.0 2300.0 0.0 0.0  
PERDAS SE NÃO IRRIGADOS (%) 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.22 0.26 0.26 0.26 0.00 0.00

BAIANIA AA TON. REND. BRUTO = 22000.00 CUST. ANTES COLH. = 5803.00 CUSTO COLH. = 770.00 PRODUÇÃO = 40.00 TON.  
ÁGUA NECESSÁRIA POR PERÍODO (M3/HA) 750.0 650.0 50.0 150.0 550.0 900.0 1550.0 1750.0 1750.0 1800.0 1800.0 1900.0  
PERDAS SE NÃO IRRIGADOS (%) 0.04 0.06 0.03 0.03 0.16 0.09 0.10 0.11 0.11 0.12 0.11 0.11

CAPIM AA TON. REND. BRUTO = 3300.00 CUST. ANTES COLH. = 1940.00 CUSTO COLH. = 200.00 PRODUÇÃO = 120.00 TON.  
ÁGUA NECESSÁRIA POR PERÍODO (M3/HA) 1450.0 500.0 50.0 50.0 450.0 600.0 1450.0 1650.0 1650.0 1700.0 1700.0 1300.0  
PERDAS SE NÃO IRRIGADOS (%) 0.08 0.05 0.02 0.02 0.15 0.08 0.10 0.12 0.12 0.12 0.12 0.12

CAPIM II TON. REND. BRUTO = 5000.00 CUST. ANTES COLH. = 3612.00 CUSTO COLH. = 350.00 PRODUÇÃO = 90.00 TON.  
ÁGUA NECESSÁRIA POR PERÍODO (M3/HA) 0.0 500.0 50.0 50.0 450.0 800.0 1450.0 1650.0 1650.0 1700.0 1700.0 1800.0  
PERDAS SE NÃO IRRIGADOS (%) 0.00 0.05 0.02 0.02 0.16 0.09 0.11 0.13 0.13 0.13 0.13 0.13

FEIJÃO III TON. REND. BRUTO = 4800.00 CUST. ANTES COLH. = 2107.00 CUSTO COLH. = 316.00 PRODUÇÃO = 0.80 TON.  
ÁGUA NECESSÁRIA POR PERÍODO (M3/HA) 0.0 0.0 350.0 200.0 300.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0  
PERDAS SE NÃO IRRIGADOS (%) 0.00 0.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

## OS CULTIVOS ACIMA SÃO PRIORITARIOS

LARANJA TON. REND. BRUTO = 30600.00 CUST. ANTES COLH. = 2612.00 CUSTO COLH. = 1071.00 PRODUÇÃO = 20.00 TON.  
ÁGUA NECESSÁRIA POR PERÍODO (M3/HA) 900.0 250.0 350.0 200.0 320.0 650.0 1200.0 1350.0 1350.0 1400.0 1400.0 1500.0  
PERDAS SE NÃO IRRIGADOS (%) 0.00 0.03 0.00 0.00 0.03 0.09 0.10 0.14 0.14 0.14 0.14 0.12

MILHO I TON. REND. BRUTO = 2640.00 CUST. ANTES COLH. = 1785.00 CUSTO COLH. = 200.00 PRODUÇÃO = 2.20 TON.  
ÁGUA NECESSÁRIA POR PERÍODO (M3/HA) 1100.0 400.0 150.0 50.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0  
PERDAS SE NÃO IRRIGADOS (%) 0.50 0.32 0.08 0.10 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

TOMAT. VII TON. REND. BRUTO = 17500.00 CUST. ANTES COLH. = 8212.00 CUSTO COLH. = 525.00 PRODUÇÃO = 25.00 TON.  
ÁGUA NECESSÁRIA POR PERÍODO (M3/HA) 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1300.0 1900.0 1900.0 0.0 0.0 0.0  
PERDAS SE NÃO IRRIGADOS (%) 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 1.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO (KC X KC X KA) = 0.40

Tab. 4.37 Dados de entrada para a simulação do sistema de irrigação.

REG.	POR. SUP/ PER.	DISPON. INIC./ FIM (MS)	AREA DISPONIVEL PARA CADA CULTURA POR PERIODO									
			ALGOD. VII	ARROZ	I ARROZ	VII BANANA	AA CAPIM	AA CAPIM	II FEIJAO	III LARANJA	MILHO	I TOMAT. VII
AS REGIOES ACIMA SAO PRIORITARIAS												
1	.530	175.00	352.00	1657.00	1657.00	82.00	352.00	352.00	912.00	83.00	352.00	912.00
2	.190	63.00	250.00	0.00	0.00	103.00	190.00	190.00	634.00	103.00	250.00	634.00
3	.170	56.00	65.00	567.00	567.00	0.00	495.00	495.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	.110	36.00	0.00	679.00	679.00	0.00	18.00	18.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tab. 4.38 - Suprimento hídrico disponível para as regiões do sistema e as áreas base dos cultivos.

RESUMO DA REGIAO 1											
AREA = 4143,00 HA ; PORCENTAGEM DO SUPRIMENTO DO PERIODO = 53, (X) ; DISPONIBILIDADE = 83867648,75 (M3)											
CONSUMO EM CADA PERIODO DE IRRIGACAO POR CULTIVO ( M3 )											
PER./ IRRIG.	ALGOD. VII 469,3 HA	ARROZ 1342,2 HA	I 1342,2 HA	ARROZ VII 133,5 HA	BANANA AA 335,6 HA	CAPIM AA 335,6 HA	CAPIM II 1474,3 HA	FEIJAO III 69,6 HA	LARANJA 335,6 HA	MILHO 872,4 HA	TOMAT. VII
1	0,00	5872125,00	0,00	250368,75	1216368,75	0,00	0,00	156000,00	922762,50	0,00	
2	0,00	2852175,00	0,00	216986,25	419437,50	419437,50	0,00	43500,00	335550,00	0,00	
3	0,00	1342200,00	0,00	16691,25	41943,75	41943,75	1290056,25	60900,00	125831,25	0,00	
4	0,00	1504975,00	0,00	50073,75	41943,75	41943,75	737175,00	34800,00	41943,75	0,00	
5	0,00	0,00	0,00	183603,75	377493,75	377493,75	1105762,50	52200,00	0,00	0,00	
6	0,00	0,00	0,00	390442,50	671100,00	671100,00	0,00	113100,00	0,00	0,00	
7	1701248,75	0,00	6711000,00	517428,75	1216368,75	1216368,75	0,00	208800,00	0,00	2835347,50	
8	1935903,75	0,00	7717650,00	584193,75	1384143,75	1384143,75	0,00	234900,00	0,00	4144042,50	
9	1935903,75	0,00	7717650,00	584193,75	1384143,75	1384143,75	0,00	234900,00	0,00	4144042,50	
10	1994567,50	0,00	7717650,00	600885,00	1426087,50	1426087,50	0,00	243600,00	0,00	0,00	
11	0,00	0,00	0,00	600885,00	1426087,50	1426087,50	0,00	243600,00	0,00	0,00	
12	0,00	0,00	0,00	634267,50	1509975,00	1509975,00	0,00	261000,00	0,00	0,00	
TOTAL	7567623,75	11576475,00	29863750,00	4540020,00	11115093,75	9898725,00	3132993,75	1887900,00	1426087,50	11123482,50	
PRODUCAO	704, (T)	4027, (T)	4027, (T)	5341, (T)	40266, (T)	30200, (T)	1179, (T)	1392, (T)	738, (T)	21811, (T)	
VALOR DA PRODUCAO	5651720,0	12663790,00	12663790,00	2937660,00	1006650,00	1677750,00	7076880,00	2129760,00	885852,00	15267525,00	
CUSTOS ANTES DA COLHEITA	1794641,4	6166966,8	6288207,0	774874,6	650967,0	1212006,6	3106455,4	181795,2	598956,8	7164395,2	
CUSTOS DA COLHEITA	197110,2	3579647,4	3579647,4	102818,1	67110,0	117442,5	465894,6	74541,6	67110,0	458025,7	
LUCRO LIQUIDO	3634968,4	2938075,8	2815935,6	2054967,3	298573,0	348300,9	3504529,4	1873423,2	219765,3	7645104,1	
VALOR DA PRODUCAO TOTAL	-	61941377,00									
CUSTOS TOTAIS	-					36647713,54					
LUCRO LIQUIDO TOTAL	-									25333663,46	

Tab. 4.39 - Resumo dos resultados para a região 1.

## RESUMO DA REGIAO 2

AREA = 1720,00 HA ; PORCENTAGEM DO SUPRIMENTO DO PERIODO = 19, (2) ; DISPONIBILIDADE = 31039441,25 (M3)

## CONSUMO EM CADA PERIODO DE IRRIGACAO POR CULTIVO ( M3 )

PER./ IRRIG.	ALGOD. VII 351,9 HA	ARRUZ 0,0 HA	I 0,0 HA	ARRUZ VII 0,0 HA	BANANA 140,5 HA	AA 164,8 HA	CAPIM 164,8 HA	AA 164,8 HA	CAPIM II 749,8 HA	FEIJAO III 99,3 HA	LAGARJA 211,9 HA	MILHO 470,8 HA	I 470,8 HA	TOBACCO VII 470,8 HA
1	0,00	0,00	0,00	0,00	263456,25	597327,50	0,00	0,00	223447,50	582615,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	224328,75	205975,00	205975,00	0,00	62068,75	211860,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	17563,75	20597,50	20597,50	656040,00	86896,25	79447,50	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	52691,25	20597,50	20597,50	374880,00	49655,00	26482,50	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	193201,25	185377,50	185377,50	562320,00	74482,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	316147,50	329560,00	329560,00	0,00	161378,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	1275492,50	0,00	0,00	0,00	544476,25	597327,50	597327,50	0,00	297930,00	0,00	1530100,00	0,00	0,00	0,00
8	1451422,50	0,00	0,00	0,00	614731,25	679717,50	679717,50	0,00	335171,25	0,00	2236300,00	0,00	0,00	0,00
9	1451422,50	0,00	0,00	0,00	614731,25	679717,50	679717,50	0,00	335171,25	0,00	2236300,00	0,00	0,00	0,00
10	1495005,00	0,00	0,00	0,00	632295,00	700315,00	700315,00	0,00	347585,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	632295,00	700315,00	700315,00	0,00	347585,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	667422,50	741510,00	741510,00	0,00	372412,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	5673742,50	0,00	0,00	0,00	4777340,00	5458337,50	4861010,00	1593240,00	2693783,75	900405,00	6002700,00	0,00	0,00	0,00
PRODUCAO	528, (T)	0, (T)	0, (T)	0, (T)	5620, (T)	19774, (T)	14830, (T)	600, (T)	1986, (T)	466, (T)	11770, (T)	0, (T)	0, (T)	0, (T)
VALOR DA PRODUCAO	422320,0	0,00	0,00	0,00	3091220,00	494340,00	625900,00	3598808,00	3038886,00	559310,40	8239000,00	0,00	0,00	0,00
CUSTOS ANTES DA COLHEITA	1345512,6	0,0	0,0	0,0	815379,5	319673,2	595185,4	1579744,3	254397,7	378170,1	5866209,6	0,0	0,0	0,0
CUSTOS DA COLHEITA	147781,2	0,0	0,0	0,0	108192,7	32956,0	57673,0	236924,2	106361,0	42372,0	247170,0	0,0	0,0	0,0
LURO LIQUIDO	2729026,2	0,0	0,0	0,0	2167647,8	141710,8	171041,6	1782179,5	2673127,3	138768,3	4125620,4	0,0	0,0	0,0
VALOR DA PRODUCAO TOTAL	-	-	-	-	24067824,40	-	-	10138702,54	-	-	13929121,86	-	-	-
CUSTOS TOTAIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LURO LIQUIDO TOTAL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 4.40 - Resumo dos resultados para a região 2.

RESUMO DA REGIAO - 3											
AREA = 1622,00 HA		PORCENTAGEM DO SUPRIMENTO DO PERIODO = 17, (%)						DISPONIBILIDADE = 10368746,25 (M3)			
CONSUMO EM CADA PERIODO DE IRRIGACAO POR CULTIVO ( M3 )											
PER./ IRRIG.	ALGOD. VII 87,1 HA	ARROZ I 761,0 HA	ARROZ VII 460,5 HA	BANANA AA 0,0 HA	CAPIM AA 437,8 HA	CAPIM II 437,8 HA	FEIJAO III 0,0 HA	LARANJA 0,0 HA	MILHO 0,0 HA	TOMAT. VII 0,0 HA	
1	0,00	3324331,25	0,00	0,00	1587025,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2	0,00	1617103,75	0,00	0,00	547250,00	547250,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3	0,00	760990,00	0,00	0,00	54725,00	54725,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
4	0,00	856113,75	0,00	0,00	54725,00	54725,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5	0,00	0,00	0,00	0,00	492525,00	492525,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
6	0,00	0,00	0,00	0,00	875600,00	875600,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
7	315810,00	0,00	2302400,00	0,00	1587025,00	1587025,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
8	359370,00	0,00	2647760,00	0,00	1805925,00	1805925,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
9	359370,00	0,00	2647760,00	0,00	1805925,00	1805925,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
10	370260,00	0,00	2647760,00	0,00	1860650,00	1860650,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
11	0,00	0,00	0,00	0,00	1860650,00	1860650,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
12	0,00	0,00	0,00	0,00	1970100,00	1970100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
TOTAL	1404810,00	6563538,75	10245680,00	0,00	14502125,00	12915100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
PRODUCAO	131, (T)	2283, (T)	1381, (T)	0, (T)	52536, (T)	39402, (T)	0, (T)	0, (T)	0, (T)	0, (T)	
VALOR DA PRODUCAO	1045440,0	7191355,50	4351536,00	0,00	1313400,00	2189000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
CUSTOS ANTES DA COLHEITA	333146,9	3495988,1	2157348,8	0,0	849332,0	1501333,6	0,0	0,0	0,0	0,0	
CUSTOS DA COLHEITA	36590,4	2029560,3	1228100,2	0,0	87560,0	153230,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
LUCRO LIQUIDO	675702,7	1665807,1	966087,0	0,0	376508,0	454436,4	0,0	0,0	0,0	0,0	
VALOR DA PRODUCAO TOTAL		16090731,50		CUSTOS TOTAIS		11952190,23		LUCRO LIQUIDO TOTAL		4138541,27	

Tab. 4.41 - Resumo dos resultados para a região 3.

## RESUMO DA REGIÃO - 4

ÁREA = 715,00 HA ; PORCENTAGEM DO SUPRIMENTO DO PERÍODO = 11, (X) ; DISPONIBILIDADE = 14322592,50 (M3)

CONSUMO EM CADA PERÍODO DE IRRIGAÇÃO POR CULTIVO ( M3 )

PER./ IRRIG.	ALGOD. VII 0,0 HA	ARRUZ I 693,4 HA	ARRUZ VII 666,2 HA	BANANA AA 0,0 HA	CAPIM AA 13,9 HA	CAPIM II 13,9 HA	FEIJAO III 0,0 HA	LARANJA 0,0 HA	MILHO 0,0 HA	TOMAT. VII 0,0 HA
1	0,00	3033625,00	0,00	0,00	50532,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	1473475,00	0,00	0,00	17425,00	17425,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	693400,00	0,00	0,00	1742,50	1742,50	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	780075,00	0,00	0,00	1742,50	1742,50	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	15682,50	15682,50	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	27880,00	27880,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	3831200,00	0,00	50532,50	50532,50	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	3830880,00	0,00	57502,50	57502,50	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	3830880,00	0,00	57502,50	57502,50	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	3830880,00	0,00	59245,00	59245,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	59245,00	59245,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	62730,00	62730,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	0,00	5980575,00	14823840,00	0,00	461762,50	411230,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PRODUÇÃO	0, (T)	2080, (T)	1999, (T)	0, (T)	1673, (T)	1255, (T)	0, (T)	0, (T)	0, (T)	0, (T)
VALOR DA PRODUÇÃO	0,0	6552630,00	6245968,00	0,00	41820,00	64700,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CUSTOS ANTES DA COLHEITA	0,0	3185479,6	3121334,4	0,0	27043,8	50351,3	0,0	0,0	0,0	0,0
CUSTOS DA COLHEITA	0,0	1849297,8	1776862,1	0,0	2788,0	4479,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LUCRO LIQUIDO	0,0	1517452,6	1397771,5	0,0	11988,4	14469,7	0,0	0,0	0,0	0,0
VALOR DA PRODUÇÃO TOTAL	-	12960118,00								
CUSTOS TOTAIS	-				10018035,76					
LUCRO LIQUIDO TOTAL	-					2942082,24				

Tab. 4.42 - Resumo dos resultados para a região 4.

## ÁGUA CONSUMIDA POR REGIÃO POR PERÍODO E PARA O CICLO TOTAL DE IRRIGAÇÃO (M3)

REGIÃO	PERÍODO											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	8418225.	4287086.	2919566.	2457855.	2096554.	1755743.	14406613.	17384978.	17384978.	13408878.	3696600.	3915218.
2	1666846.	914208.	881143.	544994.	1200759.	1136646.	4842654.	5997060.	5997060.	3875915.	2380510.	2522855.
3	4916356.	2711604.	870440.	965564.	985050.	1751200.	5792260.	6618980.	6618980.	6739320.	3721300.	3940200.
4	3034157.	1508325.	696885.	783560.	31365.	55760.	3432265.	3945885.	3945885.	3949370.	118490.	125460.

Tab. 4.43 - Água consumida por cada região em cada período.

## ÁGUA CONSUMIDA POR REGIÃO PARA O CICLO (M3)

REGIÃO	1	92132351.
REGIÃO	2	31960559.
REGIÃO	3	45631254.
REGIÃO	4	21677407.

Tab. 4.44 - Água consumida por região para o ciclo.

## ÁGUA CONSUMIDA PELO DISTRITO POR PERÍODO (M3)

PERÍODO	DISTRITO
1	18085585.
2	9421223.
3	5368034.
4	4751883.
5	4313728.
6	4699349.
7	28473791.
8	33946903.
9	33946903.
10	27973483.
11	9916960.
12	10503733.

Tab. 4.45 - Água consumida pelo distrito em cada período



se da Tabela 4.38 e também que o somatório das áreas cultivadas são superiores as áreas de cada setor, o que já fora justificado pelo fato de haver dois cultivos anuais distintos, para algumas áreas cultivadas.

O Setor 1 pelas proporções que assume no distrito, foi a que atingiu um lucro líquido mais acentuado posteriormente os setores 2, 3 e 4. No setor 2 por não se ter cultivado arroz, observa-se na Tabela 4.40, os valores nulos para água consumida, custos, e lucros em todos os períodos do ciclo. O mesmo verifica-se no setor 3 para o feijão, laranja, milho, e tomate, conforme apresentado na Tabela 4.41 e no setor 4 para o algodão, banana, feijão, laranja, milho e tomate, conforme mostra-se na Tabela 4.42.

Em seguida apresenta-se na Tabela 4.43 a água consumida por cada setor em cada período, e na Tabela 4.45 o mesmo para o distrito, podendo-se observar que os consumos são comparadamente as disponibilidades mensais, bastante inferiores ao suprimento disponível estimado para os setores, e consequentemente para todo distrito, não havendo deficits em nenhuma fase de desenvolvimento do projeto. Tendo-se como base a formulação realizada neste trabalho relativamente ao sistema, pode-se concluir que há possibilidade de utilização do excedente em outros aproveitamentos.

É registrado na Tabela 4.44 o consumo de água em todo o ciclo de irrigação para os setores do distrito e na Tabela 4.46 uma sùmula de produção de seus respectivos cultivos. Como era de se esperar, os dois tipos de capim foram os que apresentaram maior tonelagem pela alta produção por unidade de área.

Observando-se nos aspectos globais, tem-se o perfil do distrito onde é registrado o total de água consumido, o valor dos cultivos, os custos e lucro líquido. Com este perfil pode-se realizar comparações dos benefícios resultantes em relação a outras distribuições de áreas de cultivos como, por exemplo, aquelas relativas as áreas bases como fora definido anteriormente, conforme resultados apresentados na Tabela 4.48.

No confronto destes resultados identificou-se um menor consumo de água e um maior lucro para as áreas otimizadas em relação ao planejamento com área fixada, conforme tem-se nas Tabelas 4.47 e 4.48, o que era de se esperar.

Observou-se pela comparação de alguns perfis do distrito, quando se utilizava áreas otimizadas e fixas, que para o primeiro caso obtem-se lucros mais elevados e maior aproveitamento das áreas de cultivos quando se usa frações incrementais de área e lucros, de menores valores. Em certos casos por estas frações serem de maior valor pode ocorrer que os lucros resultantes do distrito sejam inferiores aos resultantes de um planejamento com área fixada. Vê-se porém, que é bastante significativo a escolha destes valores diante da política de implantação.

Para o nosso caso de aplicação, por não haver problemas de suprimento de água no que concerne aos aspectos quantitativos para um mesmo esquema de áreas de cultivos, ou seja área previamente fixada, poderá ter-se similares benefícios independente da regra de distribuição de água adotado, e das prioridades estabelecidas, já que se considera também que as estruturas hidráulicas responsáveis pela condução, distribuição e



## PRODUÇÃO DOS CULTIVOS (TONELADAS)

CULTIVO	ALGOD. VII	ARROZ I	ARROZ VII	BANANA AA	CAPIM AA	CAPIM II	FEIJÃO III	LAGARINJA	MILHO I	TOMAT. VII
REGIAU 1	704,0	4026,6	4026,6	5341,2	40266,0	30199,5	1179,5	1392,0	738,2	21810,7
REGIAU 2	527,8	0,0	0,0	5620,4	19773,6	14830,2	599,8	1986,2	466,1	11770,0
REGIAU 3	139,7	2283,0	1381,4	0,0	52536,0	39402,0	0,0	0,0	0,0	0,0
REGIAU 4	0,0	2080,2	1998,7	0,0	1672,8	1254,6	0,0	0,0	0,0	0,0

Tab. 4.46 - Produção dos cultivos por região.

REGIOES	TOTAL DE AGUA CONSUMIDA (M3)	VALOR DOS CULTIVOS	CUSTOS TOTAIS	LUCRO LÍQUIDO
REGIAU 1	92152351.	61981377,00	36647713,54	25333663,46
REGIAU 2	31960559.	24067024,40	10158702,54	13929121,86
REGIAU 3	45631254.	16090731,50	11952190,23	4138541,27
REGIAU 4	21677407.	12960118,00	10018035,76	2942082,24
DISTRITO	191401571.	115100050,90	68756642,07	46343408,83

Tab. 4.47 - Resumo dos resultados obtidos para o distrito considerando-se as áreas de cultivos otimizados dentro dos limites especificados e das frações incrementais de área e lucros fixados.

REGIOES	TOTAL DE AGUA CONSUMIDA (M3)	VALOR DOS CULTIVOS	CUSTOS TOTAIS	LUCRO LÍQUIDO
REGIAU 1	98981259.	63967980,00	39576848,00	24391132,00
REGIAU 2	32719125.	24738000,00	10448433,00	13687562,00
REGIAU 3	47553625.	15456500,00	11531921,00	3874179,00
REGIAU 4	22091375.	12377100,00	10032064,00	2945837,00
DISTRITO	203345375.	117137580,00	72039270,00	45098110,00

Tab. 4.48 - Resumo dos resultados obtidos para o distrito considerando-se as áreas de cultivos bases.

aplicação da água satisfazem plenamente a todas as circunstâncias.

De forma similar, poderia ser feito uma análise para outros padrões de cultivos, porém, considerando-se as dificuldades dos dados básicos para o modelo não se obteriam resultados satisfatórios para comparações.

Numa fase complementar realizou-se a verificação do funcionamento do reservatório equivalente a satisfação das necessidades caracterizadas pelas demandas do projeto, correspondente as áreas cultivadas otimizadas.

#### 4.3.3.2 - Simulação da operação do reservatório de regularização

Para este estudo foi aplicado o modelo apresentado na seção 3.7: identificando as demandas do projeto para as áreas otimizadas em cada período de desenvolvimento do mesmo, através da simulação do sistema de irrigação, e em seguida a representação da operação do reservatório. Para o cálculo da evaporação no espelho d'água do mesmo, utilizou-se os dados mensais médios do açude do Cedro, localizado na mesma região em que se encontram os reservatórios Arrojado Lisboa e o Sitiã, obtidos por conversão de dados do tanque flutuante, D.N.O.C.S. (1973). O valor do coeficiente utilizado foi 0.91.

Na Tabela 4.49 apresenta-se os valores de evaporação médios mensais no açude do Cedro encontrados pela técnica descrita acima.

RESERVATÓRIO	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	ANUAL
AÇUDE DO CEDRO	167	142	138	128	145	148	162	178	186	193	181	180	1948

Tab. 4.49 - ~~Evaporação média mensal~~ não espelho d'água do Açude do Cedro em mm obtido por conversão do tanque flutuante.

As precipitações médias mensais também computadas sobre o espelho d'água do reservatório são aquelas registradas em Boqueirão de Pedras Brancas, apresentadas na Tabela 4.50 conforme já esclarecido na seção 4.3.3.1, por se ter disponíveis registros de 1921 a 1958.. Para o estabelecimento da área do reservatório por ocasião dos balanços mensais, foi utilizado a equação 4.1 encontrado por interpolação polinomial. As demandas foram obtidas pela simulação do sistema de acordo com as formulações já descritas e para as áreas otimizadas.

Aplicando-se o modelo matemático apresentado na seção 3.7 primeiramente para a série de vazões históricas não ocorreu em nenhum período armazenamento inferior ao volume mínimo do reservatório, o mesmo ocorrendo para a série gerada correspondente a 90%, de probabilidade de ocorrência do período crítico mais desfavorável.

Repetindo-se este procedimento agora considerando-se as demandas duplicadas, apesar de uma utilização mais intensiva não ocorreu volume de armazenamento inferior ao mínimo consequentemente a inexistência de deficits. Portanto para os dois casos descritos pode-se verificar com um risco de 10% que as demandas serão satisfeitas mesmo nos períodos mais crítico correspondentes as séries históricas e geradas.

Em uma terceira aplicação considerou-se as demandas de projeto triplicadas e os resultados correspondentes ao período mais crítico para a série histórica e a série gerada já referida nos dois casos anteriores, são apresentados.

ANO	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	S. ANUAL
1921	107.60	206.90	246.80	107.00	138.10	29.30	64.50	0.00	0.00	0.00	45.80	1.70	947.70
1922	2.70	20.50	107.30	364.10	226.90	79.00	40.20	2.10	0.00	0.00	0.00	6.50	844.40
1923	64.30	136.60	104.70	206.90	107.10	12.10	119.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.90	755.60
1924	172.10	387.70	407.00	254.70	236.00	128.60	1.00	29.90	0.00	0.00	0.00	34.60	1655.60
1925	94.60	118.90	282.90	321.60	68.50	5.10	4.90	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80	892.30
1926	63.30	87.40	132.30	118.60	44.90	41.40	9.80	0.00	1.20	0.00	0.00	3.70	502.60
1927	12.50	89.00	195.50	259.20	43.10	5.90	20.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	625.70
1928	52.70	1.80	129.90	192.70	20.40	48.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.50	469.50
1929	62.40	154.10	223.30	92.10	115.10	19.20	16.90	0.00	0.00	14.70	0.00	0.00	703.70
1930	72.40	27.50	67.10	85.00	19.70	20.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	287.10
1931	56.00	73.50	114.20	63.00	16.50	0.00	0.00	17.50	0.00	0.00	0.00	0.00	340.70
1932	110.20	6.50	41.80	86.70	7.40	24.10	12.00	0.00	4.30	0.00	0.00	29.90	322.90
1933	93.10	155.20	130.90	345.90	23.40	8.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.70	798.60
1934	13.20	166.70	344.20	148.60	264.10	44.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	985.00
1935	52.30	230.50	223.20	238.70	61.20	72.90	16.10	2.80	0.00	0.00	0.00	0.00	897.70
1936	2.10	320.40	103.80	44.80	179.40	157.70	36.50	0.00	0.00	0.20	1.30	5.40	858.60
1937	8.40	149.50	64.60	105.30	177.30	67.10	27.50	3.10	0.00	0.00	0.00	9.20	612.00
1938	44.00	18.90	352.20	198.70	107.40	16.60	4.80	0.20	0.00	18.80	6.30	34.70	860.40
1939	36.50	96.50	182.20	122.30	67.60	35.60	32.30	14.60	27.00	0.00	0.00	2.40	623.00
1940	74.90	180.50	329.70	251.40	150.30	81.40	8.30	2.60	0.00	0.00	3.30	1.10	1083.50
1941	1.90	114.10	118.40	124.30	37.60	16.50	19.90	1.90	0.00	1.40	3.80	69.30	509.10
1942	10.40	135.70	142.10	17.20	37.70	14.20	22.20	0.10	0.00	0.00	12.50	23.60	415.70
1943	50.30	45.80	115.50	65.30	72.10	4.80	8.60	12.80	0.00	0.00	0.00	33.90	409.10
1944	54.70	14.60	94.20	82.70	126.10	11.20	9.70	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50	396.70
1945	61.60	296.10	220.40	192.70	117.50	54.90	66.70	0.00	0.00	0.00	0.00	91.80	1101.70
1946	221.40	113.30	210.50	72.50	24.40	10.60	0.00	0.00	0.00	0.00	51.40	26.20	730.30
1947	30.10	103.70	228.40	310.80	60.50	19.30	8.30	0.00	0.00	11.00	12.10	0.00	786.80
1948	11.40	34.20	268.40	129.40	113.40	31.20	28.40	29.40	5.00	0.00	22.50	0.00	673.30
1949	0.00	104.50	135.90	206.90	74.70	11.70	3.20	6.80	0.00	0.00	0.00	0.00	543.70
1950	24.50	99.20	434.80	324.70	152.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	123.90	1159.50
1951	51.40	73.50	35.90	126.50	25.40	201.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.20	543.10
1952	14.50	15.10	121.60	284.50	132.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	588.50
1953	15.30	22.20	103.80	238.70	59.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	444.90
1954	7.40	133.40	109.80	93.80	282.60	3.60	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	634.10
1955	185.70	46.80	165.20	67.90	112.00	0.00	0.00	26.20	0.00	0.00	0.00	0.00	603.80
1956	0.00	179.30	195.30	172.70	34.60	0.00	38.50	0.00	0.00	0.00	0.00	6.50	627.90
1957	48.50	25.40	191.50	320.40	108.30	0.50	2.20	0.00	0.00	0.00	0.00	3.30	700.10
1958	9.90	33.20	14.40	39.60	101.30	8.00	25.20	0.00	0.00	8.30	0.00	0.00	243.90
1959	117.60	130.80	144.70	135.00	100.20	17.50	13.70	9.00	0.00	0.00	0.00	0.00	672.50
1960	2.70	2.70	445.90	170.10	75.00	50.50	60.30	0.00	0.00	2.30	0.00	0.00	810.50
1961	128.10	250.50	365.70	216.00	163.00	44.70	19.90	0.00	0.00	1.00	1.00	35.40	1225.30
1962	28.30	53.70	220.50	121.30	51.30	11.30	26.90	0.00	0.00	0.00	0.00	78.20	591.50
1963	60.30	159.20	337.00	150.10	21.30	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	738.90
1964	204.30	167.30	299.50	283.60	242.20	12.60	62.60	14.20	12.00	0.00	0.00	0.00	1298.30

DESCRIPTORES MENSUAIS

DESCR. ANUAL

MED.	=	57.76	113.25	193.48	171.68	100.47	32.55	19.16	3.94	1.13	1.32	3.71	16.55	715.00
D.P.	=	56.39	89.29	110.25	93.63	72.13	42.74	24.48	3.08	4.48	4.03	10.81	27.74	288.62
VAR.	=	3179.64	7972.49	12154.47	8766.13	5202.11	1826.58	599.26	65.29	20.05	16.21	116.77	769.32	83303.95
ASSIM.	=	1.3407	1.0273	0.6519	0.4071	0.8743	2.3270	2.0708	2.2291	4.9982	3.2814	3.6107	2.2374	0.9571
KURT.	=	4.8105	4.4870	2.9499	2.3714	3.4009	9.5745	8.9654	7.6583	31.4979	14.0475	16.9755	8.7698	4.8373
C.VAR.	=	0.9762	0.7884	0.5698	0.5454	0.7179	1.3129	1.2776	2.0527	3.9804	1.0492	2.5152	1.6757	0.4037

Tab. 4.50 - Precipitações ocorridas no Posto de Boqueirão de Pedras Brancas (SUDENE 38.02.32), Latitude 05° 10' Longitude 38° 52', e Altitude 200m.

Conforme se vê na Tabela 4.51 para a série histórica, esta hipótese conduziu a um deficit máximo entre outros, correspondente aos meses 138 - 146, o que poderia afetar de modo marcante o desenvolvimento do sistema para aquela hipótese de demanda. O mesmo verificou-se com a série gerada Tabela 4.52, onde se pode observar a evolução dos balanços no reservatório, e o deficit máximo entre os meses 115 - 135.

Estes resultados comprovam a inviabilidade do reservatório satisfazer a estas demandas em determinados períodos de desenvolvimento do sistema, o que poderia nos levar a confiar com uma probabilidade de 90% somente nos dois primeiros casos.

O reservatório equivalente representando a adição dos dois reservatórios do projeto, exigirá que aqueles sejam operados liberando somente as descargas que somadas constituam a descarga de regularização para o reservatório equivalente, proporcionalmente a seus volumes úteis, portanto um controle deve ser realizado a cada reservatório levando em consideração todos os elementos que tenham influência na sua evolução.

BALANÇO					RESERVATÓRIO				
VINIC = 500000.00 (M3)					VMAX = 2158000000.00 (M3)				
MES	AFLUENCIA 10**3 (M3)	PRECIP. 10**3 (M3)	DEMANDA 10**3 (M3)	EVAPORACAO 10**3 (M3)	DEMANDA TOTAL 10**3 (M3)	VOLUME ARMAZENADO 10**3 (M3)	VERTIDO 10**3 (M3)	DEFICIT 10**3 (M3)	
120	0.000	0.000	21007.466	5461.433	26468.904	243750.943	0.000	0.000	
121	0.000	1516.511	36171.170	4522.452	40693.622	204573.832	0.000	0.000	
122	0.000	1773.263	18842.446	3425.895	22268.341	184078.753	0.000	0.000	
123	4740.768	2598.340	10736.068	3139.850	13275.918	177541.943	0.000	0.000	
124	15292.800	1429.435	5503.766	2904.249	12408.015	181856.163	0.000	0.000	
125	5517.504	374.157	6627.456	3249.050	11915.506	175832.319	0.000	0.000	
126	7024.320	0.000	5398.698	3274.049	12672.747	170183.891	0.000	0.000	
127	669.600	0.000	56947.582	3062.460	60010.042	110843.449	0.000	0.000	
128	0.000	216.066	67893.806	2197.702	70091.508	40968.008	0.000	0.000	
129	0.000	0.000	67893.806	1212.622	69106.428	0.000	0.000	28138.421	
130	0.000	0.000	55946.966	842.773	56789.739	0.000	0.000	56789.739	
131	0.000	0.000	19833.920	790.373	20624.293	0.000	0.000	20624.293	
132	0.000	0.000	21007.466	786.006	21793.472	0.000	0.000	21793.472	
133	0.000	481.210	36171.170	729.239	36900.409	0.000	0.000	36419.199	
134	902.016	28.384	18842.446	620.071	19462.517	0.000	0.000	18532.112	
135	11276.064	183.720	10736.068	606.539	11342.807	117.177	0.000	0.000	
136	56376.000	593.055	5503.766	875.559	10379.325	46706.906	0.000	0.000	
137	549634.464	264.681	6627.456	5186.313	13813.769	582792.282	0.000	0.000	
138	21384.000	1456.440	5398.698	8944.115	18342.013	587289.910	0.000	0.000	
139	2062.368	694.272	56947.582	9372.673	66320.255	523726.295	0.000	0.000	
140	0.000	0.000	67893.806	9181.135	77074.941	446651.354	0.000	0.000	
141	0.000	191.747	67893.806	8294.155	76187.961	370655.139	0.000	0.000	
142	0.000	0.000	55946.966	7361.540	63308.506	307346.633	0.000	0.000	
143	0.000	0.000	19833.920	6137.960	25971.880	281374.753	0.000	0.000	
144	0.000	938.910	21007.466	5652.290	26552.764	255653.855	0.000	0.000	
145	0.000	2627.713	36171.170	4713.513	40884.683	217396.928	0.000	0.000	
146	3411.072	3963.311	18842.446	3626.225	22468.671	202302.640	0.000	0.000	
147	163014.208	4204.522	10736.064	4432.575	15168.643	354372.727	0.000	0.000	
148	190900.800	16443.726	5503.766	6084.987	15588.753	546128.501	0.000	0.000	
149	198790.848	1523.048	6627.456	9437.892	11065.148	720377.245	0.000	0.000	
150	156147.200	662.049	5398.698	11805.220	21203.918	873982.560	0.000	0.000	
151	17998.648	0.000	56947.542	13612.170	70559.752	821421.676	0.000	0.000	

Tab. 4.51 Operação do reservatório equivalente, mostrando-se o período de deficits mais desfavorável (meses 129 a 134) correspondente a série histórica com as demandas de projeto triplicadas.



BALANÇO NO RESERVATÓRIO								
VINIC = 500000.00 (M3) VMAX = 2158000000.00 (M3)								
MES	AFLUENCIA 10**3 (M3)	PRECIP. 10**3 (M3)	DEMANDA 10**3 (M3)	EVAPORACAO 10**3 (M3)	DEMANDA TOTAL 10**3 (M3)	VOLUME ARMAZENADO 10**3 (M3)	VERTIDO 10**3 (M3)	DEFICIT 10**3 (M3)
120	0.000	0.000	31511.189	8429.703	39939.392	413037.550	0.000	0.000
121	0.000	2359.676	54256.755	7036.892	61293.647	354103.620	0.000	0.000
122	11031.552	2822.644	28263.669	5453.271	33716.940	334240.876	0.000	0.000
123	22980.672	4302.777	16104.102	5199.503	21303.605	340229.720	0.000	0.000
124	38646.720	2459.902	14255.649	4997.895	19251.544	362073.757	0.000	0.000
125	5758.560	653.529	12941.184	5743.136	18684.320	349801.566	0.000	0.000
126	0.000	0.000	14098.047	5846.094	19744.141	330057.426	0.000	0.000
127	214.272	0.000	85421.373	5341.316	90762.689	239509.005	0.000	0.000
128	0.000	411.009	101840.000	4180.552	106020.552	133895.466	0.000	0.000
129	0.000	0.000	101840.000	2411.760	104251.760	29647.706	0.000	0.000
130	0.000	0.000	82920.449	1143.842	85064.291	0.000	0.000	55416.586
131	0.000	0.000	29750.880	790.373	30541.253	0.000	0.000	30541.253
132	0.000	0.000	31511.189	786.006	32297.195	0.000	0.000	32297.195
133	0.000	481.210	54256.755	729.239	54985.994	0.000	0.000	54504.784
134	0.000	28.384	28263.669	620.071	28883.740	0.000	0.000	28855.357
135	0.000	182.528	16104.102	602.605	16706.707	0.000	0.000	16524.179
136	11378.880	378.593	14255.649	558.938	14814.587	0.000	0.000	3057.114
137	267.840	32.314	12941.184	633.171	13574.555	0.000	0.000	13274.202
138	0.000	105.237	14098.047	646.272	14744.319	0.000	0.000	14639.081
139	0.000	52.400	85421.373	707.405	86128.778	0.000	0.000	86076.378
140	0.000	0.000	101840.000	777.273	102617.273	0.000	0.000	102617.273
141	0.000	18.777	101840.000	812.206	102652.206	0.000	0.000	102633.429
142	0.000	0.000	82920.449	842.773	84763.222	0.000	0.000	84763.222
143	0.000	0.000	29750.880	790.373	30541.253	0.000	0.000	30541.253
144	0.000	130.564	31511.189	786.006	32297.195	0.000	0.000	32166.631
145	745.952	406.540	54256.755	729.239	54985.994	0.000	0.000	53829.502
146	4257.792	677.712	28263.669	620.071	28883.740	0.000	0.000	23948.237
147	76280.832	964.620	16104.102	1034.026	17142.128	60123.324	0.000	0.000
148	299013.120	8592.362	14255.649	3179.596	17435.245	350293.561	0.000	0.000
149	23596.704	520.626	12941.184	5704.732	14645.416	356164.975	0.000	0.000
150	1010.880	321.932	14098.047	5740.466	19838.513	337659.271	0.000	0.000
151	0.000	0.000	85421.373	5455.801	90877.174	246702.055	0.000	0.000

Tab. 4.52 Operação do reservatório equivalente, mostrando-se o período de deficits mais desfavorável (meses 130 a 146) correspondente a série gerada com 90% de probabilidade de ocorrência do período crítico também mais desfavorável com demandas de projeto duplicadas.

## C A P Í T U L O V

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Da análise das técnicas apresentadas no capítulo III juntamente com as formulações e hipóteses realizadas nas aplicações no Capítulo IV, pode-se chegar as seguintes conclusões:

- a) A análise de estrutura de séries de deflúvios mensais em rios intermitentes, características de zonas áridas e semi-áridas, pela elevada frequência de valores nulos e sequenciais, deve ter um tratamento especial nos aspectos relativos a periodicidade e dependência dos valores consecutivos. A consideração da periodicidade básica de 12 meses, e a aplicação de ajustamento de harmônicos as estatísticas mensais torna-se impraticável neste caso. Devido aos fatos citados, o emprego de modelos especiais como indicado neste trabalho para este tipo de séries, deve ser considerado.
- b) Os saltos verificados nas séries de vazões e precipitações anuais em estudo, não têm justificativas físicas reais.
- c) A utilização do modelo de geração de vazões mensais para rios intermitentes, proposto por Clarke, não apresentou resultados satisfatórios ao comparar os estatísticos das séries geradas com os da série histórica, pois a série mensal na totalidade dos casos apresentou médias muito acima das médias da série histórica em cada mes ( $J$ ,  $J=1, 9$ ) e no restante dos meses estas médias são consideradas nulas. Um fato importan-

te se refere aos períodos críticos das séries geradas por este modelo, uma vez que, não apresentou o volume e duração maiores do que os obtidos para a série histórica.

- d) O modelo de geração de Clarke modificado, proposto neste trabalho, embora não preservando os estatísticos de ordem superior a dois, apresentou estatísticos tanto para a série mensal como para a anual, variando em torno dos valores obtidos para a série histórica, com provando uma melhor representatividade.

Observou-se que, os períodos críticos das séries geradas com as referidas modificações teve volumes e durações inferiores e superiores aos obtidos para a série histórica, tornando-se o modelo mais aceitável.

- e) A confiabilidade dos suprimentos hídricos disponíveis em um determinado sistema de irrigação pode ser estimada aplicando-se os modelos matemáticos de geração de séries e de simulação apresentados neste trabalho, como também do modelo matemático de operação do reservatório de regularização plurianual, a satisfação das necessidades provenientes do sistema de irrigação, nas diversas hipóteses de demandas. Os valores de confiabilidade são subjetivos.

- f) A aplicação do modelo de simulação do sistema de irrigação com otimização das áreas cultivadas, objetivando a escolha da alternativa ótima no plano de cultivo, está sujeito a uma série de informações que podem ser de difícil obtenção e exige muito critério.

Visando possíveis aplicações e melhorias do presente trabalho, as seguintes recomendações podem ser sugeridas:

- a) Utilização de geração multivariada de deflúvios para o caso de múltiplos reservatórios componentes do sistema no lugar de um reservatório equivalente.
- b) Determinação das necessidades de água pelos cultivos, considerando os efeitos probabilísticos das situações mais críticas de evapotranspiração e precipitação.
- c) A seleção de métodos para o cálculo da evapotranspiração potencial, cujas características se adaptem melhor às condições geográficas e de clima para a região, onde se pretende implantar o sistema, em base a experimentação.
- d) A utilização do modelo de simulação do sistema de irrigação com um maior fracionamento das áreas cultivadas do distrito, para obter-se maior eficiência no aproveitamento daquelas.
- e) Fixação de pequenas frações incrementais de área e lucro no processo de otimização de áreas cultivadas.
- f) Realização de um estudo dos parâmetros e variáveis utilizados no modelo de simulação do sistema a fim de que as respostas sejam obtidas com um maior nível de aceitação, se possível desenvolvendo até estudos experimentais para determinação daqueles.
- g) Desenvolver a simulação do sistema de irrigação para diversas hipóteses de planejamento para que, dentre estas, seja escolhida a alternativa que satisfaça os

*objetivos estabelecidos com o máximo de benefícios.*

- h) Quando da aplicação de modelos, para uma maior segurança da análise do funcionamento do sistema face a importância que as situações críticas podem assumir, sugere-se que o período de análise seja o mais longo possível e a proporção que novos elementos quer de caráter hidrológico, agrônômico, ou técnico - econômico sejam adicionados, se faça periodicamente uma reestruturação relativamente ao sistema de irrigação e a exploração do reservatório.*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) ANDERSON, R.L. - *Distribution of the Serial Correlation Coefficient*, *Annals of Mathematical Statistics*, vol. 13, pp. 1-13, 1941.
  
- 2) ANDERSON, R.L. & MAASS, A. - *A Simulation of Irrigation Systems*, *Technical Bulletin* nº 1431, U. S. Department of Agriculture, [Economic Research Service, in Cooperation John Fritzgerald Kennedy School of Government, Harvard University], 1970.
  
- 3) ARAUJO, R.P. - *Transformação e Estimação de Parâmetros para Modelos Adaptados a Previsão de Séries Temporais*, *Tese de Mestrado PUC/RJ*, Setembro 1974.
  
- 4) BARRA, D.S.P.L. - *Estudos de Exploração de reservatórios*, *Anais do II Seminário Nacional de Irrigação e Drenagem*, P. Alegre, G.E.I.D.A., Novembro 1970.
  
- 5) BARTLETT, M.S. - *Periodogram Analysis and Continuous Spectra*, *Biometrika*, v. 37, p. 1, 1950.
  
- 6) BENSON, M.A. & MATALAS, N.C. - *Synthetic Hydrology Based on Regional Statistical Parameters*, *Water Resources Research*, vol. 3, nº 4, 1967.
  
- 7) BOX, G.E.P. & JENKINS, G.M. - *Time Series Analysis, Forecasting and Control*, Holden - Day, 1970.
  
- 8) CLARKE, R.T. - *Mathematical Models in Hydrology, Irrigation and Drainage Paper*, nº 19, Food and Agriculture Organization, Rome 1973.
  
- 9) CONNER, J.R. et al - *Risk Programming: An Aid in Planning Reservoir - Irrigation System*, *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 54, nº 2, Maio 1972.

- 10) *CONSTRUÇÃO PESADA - Grandes Barragens Brasileiras*, nº 61, Fevereiro 1975.
- 11) *DAKER, A. - A Água na Agricultura*, Rio de Janeiro, Livraria Freitas Bastos S.A., 3ª vol. 1975.
- 12) *D.N.O.C.S. - Estudo Geral de Base do Jaguaribe, Política das Águas*, v. 8 - 1967.
- 13) *D.N.O.C.S. - Estudo de Viabilidade do Baixo Jaguaribe - tomo II, parte III e tomo III, parte III, realizado pelo G.E.V.J., 1973.*
- 14) *D.N.O.C.S. - Plano de Exploração para o Perímetro de Morada Nova*, 1977.
- 15) *DUDLEY, N.J. - A Simulation and dynamic Programming Approach to Irrigation Decision Making in a Variable Environment*, Agr. Econ. Bus. Manage. Bull. 9, p. 506, Fac. of Agr. Econ., Univ. of N.Engls, Armidale, Australia, 1970.
- 16) *F.A.O. - Simulation Methods in Water Development, Irrigation and Drainage Paper*, nº 23, 1974.
- 17) *F.A.O. - Crop Water Requeriments, Irrigation and Drainage Paper*, nº 24, 1977.
- 18) *FLORES, J.O.M. - Hidráulica Teórica, Irrigação, Notas de Aula da Cadeira de Hidráulica Teórica e Aplicada*, UFRJ, 1972.
- 19) *GEIDA - Anais do II Seminário Nacional de Irrigação*, Porto Alegre, Novembro 1970.
- 20) *GRENANDER, U. & ROSENBLATT, M. - Statistical Analysis of Stationary Time Series*, New York, Wiley Publications, 1957.

- 21) HARMS, A.A. & CAMPBELL, T.H. - *An Extension to the Thomas-Fiering Model for the Sequential Generation of Stream flow Water Resources Research*, vol. 3, 1967, pp. 653-661.
- 22) HANNAN, E.J. - *Multiple Time Series*, J. Willey & Sons, 1970.
- 23) HUFSCSMIDT, M.M. & FIERING - *Simulation Techniques for Design of Water Resources Research Systems*, Harvard University, Press. Cambridge, Massachussets, 1966.
- 24) HURST, H.E. - *Long-term Storage Capacity of Reservoirs*, Trans. A.S.C.E., vol 116, n<sup>o</sup> 11, 1951, pp. 770-808.
- 25) ISRAELSEN, O.W. & HANSEN, V.E. - *Irrigation Principles e Practices*, New York, Wiley International Edition, 1962.
- 26) JENSEN, M.E. - *Consumptive use of Water and Irrigation Water requirements*, New York, A.S.C.E. 1973.
- 27) KIESEL, C.C. - *Time Series Analysis of Hydrologic Data*, Advances in Hydroscience Academic Press, 1969.
- 28) LATTARI, L.A. & GUERRERO, P.L.S. - *Modelagem Hidrológica para Estudos de Operação a Longo Prazo de Sistemas Hidrelétricos*, Revista Brasileira de Energia Elétrica, n<sup>o</sup> 30, 1975.
- 29) MACHADO, D.O. - *Modelos Estocástico Para Análise e Simulação de Sequência Hidrológica*, Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, 1970.
- 30) MASS, A. et al - *Design of Water Resource Systems*, Harvard University Press, Cambridge Massachussets, 1962.
- 31) MATALAS, N.C. - *Mathemetical Assessment of Synthetic Hydrology Journal of Water Resources Research*, v.3, n<sup>o</sup> 4, 1967.



- 32) NAYLOR, T.H. et al - *Técnicas de Simulação em Computação*  
Ed. Vozes, 1971.
- 33) NEVILLE, A.M. & KENNEDY, J.B. - *Basic Statistical Methods*  
- Scranton, International Textbook Company, 1964.
- 34) OLIVIER, H. *Irrigation and Water Resources Engineering*  
London, The Camelot Press Ltd. 1972.
- 35) PACITTI, T. & ATKINSONS, C.P. - *Programação e Métodos Computacionais*, vol. 2, 1976.
- 36) PARZEN, E. - *Time Series Analysis Papers*, Holden-Day Inc.  
San Francisco, 1967.
- 37) QUIMPO, R.G. - *Stochastic Model of Daily River Flow Sequences*, Hydrology Papers nº 18, Colorado State University, Fort Collins Colorado, 1967.
- 38) RIPPL, W. - *The Capacity of Storage Reservoirs for Water Supply Pro.* Institution of Civil Engineers 71, 1883 ,  
pp. 170-178.
- 39) RODRIGUEZ-ITURBE, I. - *The Investigation of Relationship Between Hidrologic Time Series and Sunspot Numbers* ,  
Hydrology Paper, nº 26, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1968.
- 40) ROESNER, L.A. & YEVJEVICH - *Mathematical Models for Time Series of Monthly Precipitation and Runoff* - Hydrology Papers, nº 15, Colorado State University, Fort Collins Colorado, 1966.
- 41) SALAS LA CRUZ, J.D. & YEVJEVICH, V. - *Stochastic Structure of Water use Time Series*, Hydrology Paper, nº 52, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1972.
- 42) SALES, P.R.H. - *Um Modelo Determinístico - Estocástico Para Previsão de Séries Hidrológicas Temporais*, Tese

de Mestrado, COPPE/UFRJ, 1977.

- 43) SILVA, L.F.C.A. & SALES, P.R.H. - *Aplicação de Modelos Paramétricos Estocásticos Sazonais Lineares e Dados de Vazões Mensais, Projeto Final da Disciplina COP-760, Análise e Previsão de Séries Temporais, COPPE, 1975.*
- 44) SCHUSTER, A. - *On the Investigation of Hidden Periodicities with Application to Supposed 26-day Period of Meteorological Phenomena, Terr. Mag. v. 3, nº 1, p. 13-41, Washington, D.C., 1898.*
- 45) SLUTSKY, E. - *The Summation of Random Causes as the Sources of Cyclic Processes, Econometrika, (5) 1937.*
- 46) SOUZA, R.C. - *Identificação e Testes Estatísticos e Modelos Adaptados a Previsão de Séries Temporais, Tese de Mestrado PUC/RJ, Setembro 1974.*
- 47) SUDLER, C.E. - *Storage Required for the Regulation of Streamflow, Trans A.S.C.E., vol 91, 1927, pp. 622-660.*
- 48) THOMAS, H. & FIERING, M. - *Mathematical Synthesis of Streamflow Sequences for the Analysis of River Basins by Simulation in Design of Water Resources Systems, A. Maass e al Chap. 12, pp. 459-493 Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1962.*
- 49) THOMAS, H. & FIERING, M. - *Statistical Analysis of the Reservoir Storage-Yield Relation Chap. 1, Operations Research in Water Quality Management, Report Harvard Water Resource Group, Harvard University, Cambridge, Mass, 1963.*
- 50) TUKEY, J.W. - *An Introduction to the Measurement of Spectra Probability and Statistics, Edited by V. Grenander, Almquist and Widsell pp. 300-330, 1959.*

- 51) VALENCIA, D.R. & SHAAKE, J.C. - *Desagregation Processes in Stochastic Hydrology, Water Resources Research*, vol. 9, n<sup>o</sup> 3, Junho 1973.
- 52) YEVJEVICH, V. - *Probability and Statistics in Hidrology Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado 1972a.*
- 53) YEVJEVICH, V. - *Stochastics Processes in Hydrology Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado 1972b.*
- 54) YEVIEWICH, V. - *Structural Analysis of Hydrologic Time Series, Hydrology Paper, n<sup>o</sup> 56, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1972c.*
- 55) YULE, G.U. - *On A Method of Investigation Periodicities in Disturbed Series With Special Reference to Wolfer's Sunspot Numbers, Phil. Trans., Ser. A. (226), 1927.*
- 56) WOLD, H. - *A Study in the Analysis of Stationary Time Series Almquist and Wiksell, Stockholm, 1954.*